

PCTWELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

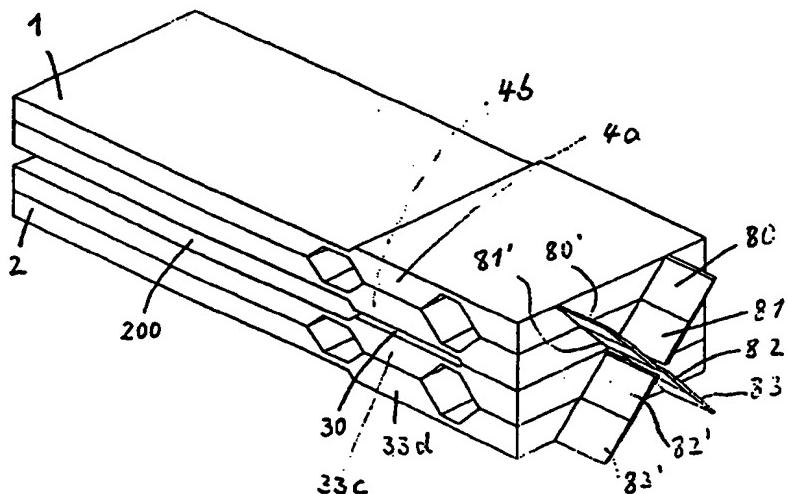
(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01C 19/56, G01P 15/08, 9/04	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 96/38710 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 5. December 1996 (05.12.96)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP96/02333		(81) Bestimmungsstaaten: CA, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 30. Mai 1996 (30.05.96)		
(30) Prioritätsdaten: 195 20 051.9 31. Mai 1995 (31.05.95) DE		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>
(71) Anmelder (<i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i>): LITEF GMBH [DE/DE]; Lörracher Strasse 18, D-79115 Freiburg (DE).		
(72) Erfinder; und		
(75) Erfinder/Anmelder (<i>nur für US</i>): RYRKO, Bruno, F. [DE/DE]; Jahnstrasse 10, D-79211 Denzlingen (DE). HANDRICH, Eberhard [DE/DE]; Keltenring 104, D-79199 Kirchzarten (DE). BRENG, Uwe [DE/DE]; Am See 8, D-79194 Gundelfingen (DE). HAFEN, Martin [DE/DE]; Suppengasse 21, D-78628 Rottweil (DE).		
(74) Anwalt: MÜLLER, Frithjof, E.; Ter Meer-Müller-Steinmeister & Partner, Mauerkircherstrasse 45, D-81679 München (DE).		

(54) Title: MICROMECHANICAL ROTATION SPEED SENSOR

(54) Bezeichnung: MIKROMECHANISCHER DREHRATENSOR

(57) Abstract

A micromechanical rotation speed sensor based on the principle of Coriolis contains two flat, mutually flush and superimposed oscillators (1, 2) that may be electrostatically made to oscillate with contrary phases on flat support structures (4a, 4b, 33c, 33d) mutually separated by a very small driving capacitor gap (30). By an appropriate choice of the resonant frequency of the support structures, and by leaving a substantially larger distance between the oscillators (1 and 2), larger oscillation amplitudes and thus a high oscillation quality may be achieved that are not limited by the narrow driving capacitor gap (30) that would be required to achieve a good degree of excitation at small excitation voltages. Both oscillators preferably consist each of two bonded parts that are electrically insulated from each other, suspended on springs (80 to 83, 80' to 83') within a frame and designed in such a way that the oscillators can only describe rotary movements and all linear movements of the oscillators in the direction $\pm z$ are suppressed.



(57) Zusammenfassung

Der auf dem Coriolis-Prinzip basierende mikromechanische Drehratensor enthält zwei elektrostatisch zu Schwingungen in Gegenphase anzuregende, fluchtend übereinander angeordnete plattenförmige Swinger (1, 2), die über plattenartige Trägerstrukturen (4a, 4b, 33c, 33d), die durch einen sehr kleinen Antriebskondensatorspalt (30) voneinander getrennt sind, zu Schwingungen angeregt werden. Durch geeignete Wahl der Eigenfrequenz der Trägerstrukturteile lassen sich aufgrund eines wesentlich größeren Abstands der Swinger (1 und 2) größere Schwingungsamplituden und damit eine hohe Schwingergüte erreichen, die nicht durch den aus Gründen einer guten Anregung bei kleinen Erregerspannungen eng ausgebildeten Antriebskondensatorspalt (30) begrenzt werden. Die beiden Swingerstrukturen bestehen vorzugsweise jeweils aus zwei elektrisch gegeneinander isolierten gebondeten Teilen, die über Federn (80 bis 83, 80' bis 83') innerhalb eines Rahmens aufgehängt und so gestaltet sind, daß im wesentlichen nur Drehbewegungen der Swinger möglich sind und lineare Bewegungen der Swinger in Raumrichtung $\pm z$ weitgehend unterdrückt werden.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäß dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Ostereich	GE	Georgien	NZ	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LK	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauretanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

1

Mikromechanischer Drehratensensor

Die Erfindung betrifft einen mikromechanischen Drehratensensor basierend auf
5 dem Coriolis-Prinzip mit zwei elektrostatisch zu Schwingungen in Gegenphase an-
zuregenden plattenförmigen Schwingern.

Die Messung von Drehraten durch Bestimmung von Coriolis-Kräften ist bekannt
und wird in einigen Sensoren dieser Gattung angewendet.

10

Bei den zur Zeit auf dem Markt erhältlichen Coriolis-Drehratensensoren werden zur
Anregung beispielsweise von Schwingungen und zur Auslesung piezoelektrische Ef-
fekte ausgenutzt; vgl. nur beispielshalber EP 0 563 761 A1, EP 0 563 762 A1, EP 0
520 467 A1, EP 0 520 468 A2, EP 0 533 163 A2, EP 0 460 089 B1, GB 2 251 072 A, CA
15 1 313 065 A, EP 0 298 511 B1, EP 0 318 972 B1, EP 0 638 783 A1 und US 5 247 252 A.

Da die in der Mikrotechnologie für die genannten Zwecke benutzten piezoelektri-
schen Werkstoffe im Vergleich zum Silicium sehr unterschiedliche temperaturab-
hängige Werkstoffparameter besitzen, sind hohe Temperaturabhängigkeit und
20 Nichtwiederholbarkeiten des Nullpunkts solcher Drehratensensoren die Folge, die
deren Anwendungsbereich stark einschränken.

Drehratensensoren mit mikromechanischen Elementen sind bereits erhältlich. Da-
gegen sind rein mikromechanische Lösungen für einen kompakten Sensor bis heute
25 nicht auf dem Markt. Jedoch sind aus Patentveröffentlichungen mikromechanische
Lösungen bekannt, bei denen Coriolis-Beschleunigungen gemessen werden; vgl. US
5 101 702 A, CH 682 844 A5, GB 2 251 688 A, DE 40 22 495 A1, EP 0 574 143 A1, EP 0
634 629 A1, US 5 203 208 A, EP 0 442 280 A2, US 4 750 364 A, EP 0 623 807 A, EP 0
620 415 A1, GB 2 276 241 A, US 4 884 446 A und DE 40 41 582 A1.

30

Für schwingende Strukturen in mikromechanischer Ausfertigung in Si-Technologie
bieten sich kapazitive Aktoren zur Anregung bzw. kapazitive Brückenschaltungen
zur Auslesung an; vgl. GB 92 00930, EP 0 586 437 A1, US 5 207 685 A, DE 40 41 582
A1.

35

Für den kapazitiven Antrieb einer schwingenden mikromechanischen Struktur ist
die wirksamste Kraftrichtung die senkrecht zwischen zwei gegenüberstehenden,
entgegengesetzt gepolten Platten. Aus diesem Grund ist es zweckmäßig, für eine sol-

1 che schwingende Struktur eine Anordnung zu wählen, bei der zwei entgegengesetzt
gepolte Platte 100 bzw. 200 für den Antrieb des Schwingers 101 benutzt werden kön-
nen (vgl. Fig. 4). Die schematischen Signaldiagramme unterhalb der Schnittdarstel-
lung des Schwingers verdeutlichen die Pulse der Anregungssignale, mit denen die
5 obere Platte 100 (Elektrode 1) bzw. die untere Platte 200 (Elektrode 2) beaufschlagt
werden.

Verwendet man sehr kleine Abstände der beiden Antriebskondensatorflächen zwi-
schen der oberen Platte 100 und dem Swinger 101 einerseits bzw. zwischen der
10 unteren Platte 200 und dem Swinger 101 andererseits, so lassen sich mit ver-
gleichsweise kleinen Spannungen (z. B. 5 V) hinreichend große Antriebskräfte errei-
chen.

Nachteilig an dieser prinzipiell bekannten Anordnung nach Fig. 4 (vgl. etwa US
15 4 884 446) ist jedoch, daß die kleinen Abstände der Antriebskondensatorflächen
zugleich die maximale Schwingeramplitude des Schwingers 101 auf einen Bruchteil
eben dieser Kondensatorplattenabstände einschränken und für kleine Schwinger-
dämpfungen sehr hohe Anforderungen an die Gasatmosphäre gestellt werden müs-
sen, innerhalb derer sich die Schwingieranordnung befindet.

20 Unter dem Einfluß der Coriolis-Beschleunigung wird eine zur Schwingerbewegung
orthogonale Amplitude erzeugt, die zur Messung der Drehrate benutzt werden kann.
Im Beispiel nach Fig. 4 erzeugt die eingezeichnete Drehrate Coriolis-Kräfte, die aus
der Bildebene herauszeigen. Diese Anordnung hat jedoch den weiteren Nachteil,
25 daß die Reaktionskräfte der Schwingerbewegung in die Umgebung des Sensors ein-
geleitet werden und Störungen der Meßwerte hervorrufen können.

Zur Vermeidung dieses letztgenannten Nachteils sind Doppelschwinger-Anordnun-
30 gen vorgeschlagen worden, wie sie die Fig. 5 zeigt (vgl. auch GB 2 251 688 A). Der er-
ste Swinger 50 und der zweite Swinger 60 bewegen sich gegenphasig. Eine
Drehrate, deren Vektor senkrecht auf der Zeichenebene steht, erzeugt Drehmomen-
te um diese gemeinsame Drehachse 55 in der Frequenz der Schwingerbewegungen.
Mit dieser bekannten Anordnung lassen sich große Schwingeramplituden errei-
chen. Diese Anordnung hat jedoch den Nachteil, daß bei kapazitivem Antrieb über
35 Differentialkondensatoren die Antriebskräfte zwischen Flächen wirken, die senk-
recht zur Waferebene liegen und nur schwierig mit kleinen Abständen exakt parallel
zueinander herzustellen sind. Ungleiche Luftspalte an den Schwiegern 50, 60 wir-
ken sich dann als Anregung um die Drehachse aus und beeinflussen den Nullpunkt

1 des Sensors erheblich. Dieser Effekt ist temperaturabhängig. Ein weiterer Nachteil dieser Anordnung mit kapazitiver Anregung besteht in den relativ kleinen Antriebskräften, was man gemäß neueren Vorschlägen durch kammartige Elektroden zu verringern sucht.

5

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen mikromechanischen Drehratensensor nach dem Coriolis-Prinzip zu schaffen, bei dem Störungen von Meßwerten durch Reaktionskräfte aufgrund von Schwingerbewegungen nicht auftreten und bei dem trotz erwünschter kleiner Abstände von Antriebskondensatorflächen prinzipiell keine oder wesentlich weniger Einschränkungen hinsichtlich einer zulässigen Schwingeramplitude zu berücksichtigen sind und der in mikromechanischer Technik kostengünstig herstellbar ist.

15 Die erfundungsgemäße Lösung besteht bei einem mikromechanischen Drehratensensor, der auf dem Coriolis-Prinzip basiert und zwei elektrostatisch zu Schwingungen in Gegenphase anzuregende plattenförmige Schwingen aufweist, darin, daß die Schwingen aus einkristallinen Wafern in mikromechanischer Technik hergestellt werden können und in zwei Ebenen schichtartig senkrecht zur Waferebene übereinander angeordnet sind und die Schwingungsrichtung senkrecht zur Plattenebene 20 liegt. Damit kann eine kostengünstige Herstellung mit mikromechanischen Verfahren erfolgen, wie z. B. Ätzen und Waferbonden.

25 Die Schwingen sind erfundungsgemäß an einer Seite oder an zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils mit einem Teil einer plattenartigen Trägerstruktur verbunden, über welche die elektrostatische Schwingungsanregung senkrecht zur Waferebene erfolgt, wobei die Eigenfrequenz der Trägerstruktur vorzugsweise höher gewählt ist als die der Schwingen. Weiterhin sind die Trägerstrukturteile so gestaltet, daß ihre Reaktionskräfte sich gegenseitig aufheben.

30 Um (noch) größere Schwingungsamplituden senkrecht zur Waferebene für die Schwingen zuzulassen, ist die Dicke der zwischen den beiden Teilen der Trägerstruktur verlaufenden Schwingen deutlich geringer als die der zur Schwingungsanregung dienenden Trägerstruktur. Die Dicke der Trägerstruktur andererseits ist so gewählt, daß sich möglichst kleine Antriebskondensatorpalte für die elektrostatische Schwingungsanregung im Bereich der Trägerstruktur ergeben.

35 Die Schwingen sind vorzugsweise über jeweils mindestens einen Anlenksteg geringer Dicke einstückig mit den Teilen der Trägerstruktur verbunden. Diese einstücki-

- 1 ge Swinger-Träger-Kombination ist nun ihrerseits einseitig oder beidseitig durch jeweils einen Federsteg in einem die Anordnung aus Swinger und Trägerstruktur umgebenden Rahmen gehalten, wobei der Federsteg vorzugsweise als Blattfederelement oder als schrägstehendes Federelement gestaltet ist, das im wesentlichen nur
5 lineare Auslenkbewegungen des Swingers zuläßt und Drehbewegungen des Swingers unterdrückt.

- Eine vorteilhafte Realisierung eines solchen mikromechanischen Drehratensensors besteht darin, die Swinger samt den über die Anlenkstege damit einstückig verbundenen Teilen der Trägerstruktur und des Rahmens aus zwei Lagen eines Wafers vorzugsweise durch anisotropes Ätzen zu bilden, die zur gegenseitigen Isolation auf der jeweils einander zugekehrten Fläche oxidiert und die durch Silicium-Fusionsbonding miteinander zu einer Doppelswingerstruktur verbunden sind. Die fluchtend übereinander angeordneten Doppelswingerstrukturen sind dann ober- und unterseitig durch nicht-leitende Deckplatten, die mit dem Rahmen verbondet sind, hermetisch abgedichtet. Die Swingerstrukturen befinden sich dann in dem so gebildeten Gehäuse im Vakuum oder in einer Inertgasatmosphäre unter geringem Druck.
10
15
20 Die Erfindung und weitere vorteilhafte Einzelheiten werden nachfolgend unter Bezug auf die Zeichnungen in einer beispielswise Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 die Schnittdarstellung einer Doppelswingerstruktur eines Drehratensensors nach dem Coriolis-Prinzip mit erfundungsgemäßen Merkmalen;

25 Fig. 2 in auseinandergesetzter Darstellung den Schichtaufbau der Doppelswingerstruktur nach Fig. 1, hergestellt aus insgesamt vier Waferebenen mit Ergänzung durch eine ober- und eine unterseitige Deckplatte;

30 Fig. 3 die Prinzip-Schnittdarstellung einer Deckplatte zur Verdeutlichung der Durchkontaktierung von auf deren Innenflächen aufgebrachten Elektroden;

35 Fig. 4 eine bereits erläuterte bekannte Plattenschwingerstruktur;

Fig. 5 eine ebenfalls bereits erläuterte bekannte Doppelswingerstruktur mit in einer Ebene nebeneinander angeordneten Swingen;

- 1 Fig. 6 die perspektivische Teilansicht einer Doppelschwingerstruktur mit erfundensgemäßen Merkmalen, die einseitig angelenkt ist;
- 5 Fig. 7 eine der Fig. 6 entsprechende Doppelschwingerstruktur einschließlich einer umgebenden Rahmenanordnung, jedoch ohne obere und untere Deckplatten;
- 10 Fig. 8 eine der Fig. 6 entsprechende Doppelschwingerstruktur mit einseitiger Anlenkung über in einer [111]-Ebene liegenden Anlenkstegen, die insgesamt eine Art Kreuzfedergelenk bilden; und
- 15 Fig. 9 die Doppelschwingerstruktur der Fig. 8 innerhalb einer umgebenden Rahmenanordnung wiederum ohne obere und untere Deckplatten.
- 20 Die Fig. 1 zeigt zunächst in Schnittdarstellung den prinzipiellen Aufbau und die Anordnung einer zweilagigen Schwingerstruktur für einen mikromechanischen Drehratensensor mit Ausnutzung von Coriolis-Kräften zur Gewinnung eines Drehratensignals.
- 25 Im Gegensatz zu dem bekannten Aufbau nach Fig. 5 (vgl. auch GB 2 251 688 A) mit zwei nebeneinanderliegenden, entgegengesetzt schwingenden Massen liegen bei dem Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung nach Fig. 1 die entgegengesetzt schwingenden Strukturen nicht in einer Ebene nebeneinander, sondern in verschiedenen Ebenen übereinander, und zwar so, daß die Reaktionskräfte der Schwingerdynamik sich gegenseitig vollständig aufheben.

Im dargestellten Beispiel weist die Schwingeranordnung zwei jeweils doppeltragige Schwingerelemente 1a, 1b bzw. 2a, 2b auf, die jeweils zu beiden Seiten über Anlenkstege 9a, 19a bzw. 9b, 19b und – bezogen auf den unteren Schwinger 2a, 2b über Anlenkstege 9c, 19c bzw. 9d, 19d einstückig mit plattenartigen Trägerteilen 4a, 3a bzw. 4b, 3b einerseits und 33c, 33d bzw. 32a, 32b andererseits verbunden sind. Die Trägerteile 3a, 3b und 4a, 4b bzw. 32b, 32a und 33c, 33d sind ihrerseits über Federstege 5, d. h. 5a, 5b, 5c und 5d, bzw. 7, d. h. 7a, 7b, 7c und 7d, mit einem umlaufenden Rahmen 6, d. h. 6a, 6b, 6c, 6d ebenfalls einstückig verbunden. Die einzelnen Lagen oder Schichten bestehen also, beispielsweise bezogen auf die in Fig. 1 oberste Lage, einstückig aus dem Rahmen 6a, verbunden über den Federsteg 5a mit dem Trägerteil 3a, das über den Anlegsteg 19a mit dem Schwingerelement 1a verbunden ist, das rechtsseitig über den Anlenksteg 9a in das rechtsseitige Trägerteil 4a über-

1 geht, das wiederum über den Federsteg 7a mit dem rechtsseitigen Teil des Rahmens
6a verbunden ist. Eine derartige Swingerstruktur ist aus einem Wafermaterial
hergestellt, beispielsweise durch einen anisotropen Ätzprozeß. Zwischen den ein-
zernen Lagen der zweilagigen Doppelswingerstruktur sind die Waferplatten oxi-
diert, also gegeneinander elektrisch isoliert, und sodann durch Si-Fusionsbonding
miteinander verbunden.

Wie die Fig. 1 gut erkennen läßt, ist der Abstand zwischen dem oberen Swinger 1a,
1b und dem unteren Swinger 2a, 2b vergleichsweise groß, so daß auch große
10 Schwingungsamplituden möglich sind. Andererseits ist ein Antriebskondensator-
spalt 30 zwischen den linksseitigen Trägerteilen 3a, 3b bzw. 32b, 32a einerseits und
den rechtsseitigen Trägerteilen 4a, 4b bzw. 33c, 33d erwünschterweise relativ klein,
so daß eine gute Schwingungsanregung mit vergleichsweise niedrigen Pegeln einer
Pulsspannung möglich ist. Wie oben erwähnt, wird die Eigenfrequenz der im Ver-
gleich zu den Schwingerelementen dickeren Trägerstrukturteile 3a, 3b und 4a, 4b
15 bzw. 32b, 32a und 33c, 33d anders, insbesondere höher, gewählt als die Eigenfre-
quenz der beiden Swingers 1a, 1b und 2a, 2b.

Die zur Aufhängung bzw. Halterung der beiden Doppelswingerstrukturen im
20 Rahmen 6 mit den Rahmen Teilen 6a bis 6d dienenden Federstege 5a bis 5d bzw. 7a
bis 7d sind - wie die Fig. 2 besser erkennen läßt - als Blattfederelemente gestaltet,
die für Drehbewegungen um die y-Achse (A-A) nachgiebig sind und lineare Bewegun-
gen in der +z- bzw. -z-Richtung weitgehend unterdrücken.

25 Ersichtlicherweise wird im Gegensatz zur bekannten Doppelswingeranordnung
nach Fig. 5 der Doppelswinger nach Fig. 1 bzw. Fig. 2 nicht direkt, sondern über
die Trägerstruktur 3a, 3b und 4a, 4b bzw. 32b, 32a und 33c, 33d angeregt. Diese
Trägerstruktur hat eine größere Steifigkeit als die Swingers 1a, 1b bzw. 2a, 2b und
verursacht nur kleine Bewegungen bei der Resonanzfrequenz der Swingers, teilt
30 jedoch den Swingers, die, wie dargelegt, einen großen Abstand bzw. Freiraum 200
zum Aufbau einer größeren Swingeramplitude haben, diese Anregung mit. Da die
Swingers 1a, 1b bzw. 2a, 2b nicht direkt angetrieben werden, kann dieser Freiraum
200 im Prinzip beliebig groß gestaltet werden, womit sich eine gute Stabilität bei ho-
her Gütezahl für die Swingers erreichen läßt. Andererseits kann der Kondensator-
spalt 30 für die Anregung im Sub-Mikrometerbereich gewählt werden, wodurch sich
35 auch bei kleinen Spannungen ausreichend große Antriebskräfte erzielen lassen. Die
Swingeramplitude summiert sich bei ausreichend geringer Dämpfung und ge-
eigneter Anregungsphase über die Antriebsamplituden zu Swingeramplituden.

- 7 -

- 1 die um Größenordnungen höher liegen können. Der größere Abstand der Schwinger 1 und 2 voneinander und von den umgebenden Bauteilen ermöglicht die oben erwähnte hohe Schwingergüte.
- 5 Eine Besonderheit der dargestellten Konstruktion ist auch darin zu sehen, daß die Antriebskräfte sich nicht auf einer Basisstruktur abstützen, von der sie auf die sich entgegengesetzt bewegenden Hälften der Trägerstruktur 3, 4 bzw. 32, 33 übertragen werden müssen. Die Antriebskräfte werden vielmehr ausschließlich direkt zwischen den beiden jeweiligen Hälften der Trägerstruktur wirksam.
10 Da sich beide doppelagigen Schwinger 1, 2 entgegengesetzt bewegen, werden bei dieser Anordnung keine Reaktionskräfte nach außen abgegeben. Umgekehrt werden transversale Störungen von außen infolge der entgegengesetzten Schwingerbewegungen auf beide Schwinger mit entgegengesetztem Sinn wirksam, so daß sich ihre Einflüsse im Ausgangssignal gegenseitig aufheben.
15

- Bei Drehbewegungen des gesamten Sensors um die Achse A-A werden die beiden Schwinger 1,2 aus ihrer Schwingungsebene entgegengesetzt herausbewegt. Als Folge entsteht ein zur Schwingerbewegung synchrones Drehmoment um die Achse A-A.
- 20 welches die Trägerstruktur mitnimmt. Da die Trägerstruktur 3, 4 zusammen mit den Schwiegern 1, 2 in einem Rahmen befestigt ist, lassen sich Drehbewegungen im Bereich B der Trägerstruktur kapazitiv auslesen. Dabei kann die linke Hälfte der Trägerstruktur 3a, 3b bzw. 32a, 32b einerseits und die rechte Hälfte der Trägerstruktur 4a, 4b bzw. 33c, 33d andererseits getrennt ausgelesen werden. Auf diese Art können also entweder Einwirkungen von Drehungen um die zur Bildmitte orthogonale Achse im Signal kompensiert und/oder in einem zweiten Kanal gemessen werden.
 - 25

- Im dargestellten Beispiel sind die Schwinger und die Trägerstruktur zur Erhöhung der Drehsteifigkeit um die zur Zeichenebene orthogonale Achse durch die erwähnten parallelen als Blattfedern gestalteten Federstege 5, 7 bzw. 5', 7' gehalten. Diese Blattfederelemente lassen Drehbewegungen der Schwinger um die y-Achse zu. Werden die Teile 1a bzw. 1b und 2a bzw. 2b der beiden Doppelschwingerstrukturen wie oben erwähnt durch Oxidschichten gegeneinander isoliert, so sind die Potentiale für die Anregung und für die Auslesung galvanisch getrennt, so daß sich erhebliche Vorteile für die Geschwindigkeitsregelung sowie für die Ankopplung und Auslegung der Rückstellelektronik und der Antriebselektronik ergeben.

1 Da die Trägerstruktur in den Bereichen B (vgl. Fig. 1) nur sehr kleine Bewegungen ausführt, ergibt sich der weitere Vorteil, daß mittels der kleinen Antriebskondensatorpalte 30 eine große Empfindlichkeit für die Auslesung von Drehbewegungen erzielt werden kann.

5 Die zur Auslesung der Schwingerbewegungen, also der Erregerschwingungen, und die zur Auslesung der Drehbewegungen im Bereich der Trägerstruktur (drehrate-induziert) benötigten Elektroden lassen sich auf der jeweiligen Innenseite von die Schwingerstruktur abschließenden Grund- und Deckplatten 26 bzw. 27 als Metall-
10 belag aufbringen.

Um die notwendige geringe Dämpfung der beiden Schwinger zu erzielen, muß ein über die Lebensdauer des Sensors stabiler Unterdruck in der Schwingerumgebung aufrechterhalten werden. Die notwendige Dichtigkeit des Gehäuses kann durch die
15 anodisch gebondeten Grund- bzw. Deckplatten 26 und 27 aus einem nichtleitenden Material, z. B. aus Glas, erreicht werden. Die Elektrodenanschlüsse werden über Durchbrüche in der Grund- bzw. Deckplatte durchkontakteert und durch ebenfalls gebondete Si-Inseln gasdicht abgeschlossen, was nun nachfolgend mit Bezug auf die Fig. 2 näher ausgeführt wird.

20 Diese Fig. 2 zeigt die auseinandergesetzte Explosionsdarstellung eines vollständigen mikromechanischen Drehratensensors erfundungsgemäßer Bauart. Die vier mittleren schichtartigen Schwingerstrukturen wurden bereits anhand der Fig. 1 erläutert. Der obere Swinger 1 besteht aus den beiden Teilen 1a und 1b, die an den gegenseitigen Berührungsflächen zur Isolation oxidiert und durch Si-Fusionsbonding (SFB) fest verbunden sind. Der Swinger 2 mit seinen Teilen 2a und 2b ist analog aufgebaut. Die Schwinger 1 und 2 werden in Gegenphase zu Schwingungen ange-
25 regt.

30 Zur Einstellung einer gewünschten Nachgiebigkeit kann die Stärke der Anlenkstege 9a, 9b bzw. 19a, 19b und 9c, 9d bzw. 19c, 19d, die eine grabenähnliche Vertiefung bilden, entsprechend gewählt werden.

35 Die Auslesung der transversalen Schwingerbewegungen in Richtung +z bzw. -z erfolgt durch als Metallbeläge ausgebildete Kondensatorflächen 12 und 13, die innenseitig auf die beiden bondfähigen Isolierplatten, also die Deckplatte 27 und die Grundplatte 26, aufgebracht sind und über Durchbrüche in diesen Isolierschichten mit gebondeten Siliziuminseln 20, 21 bzw. 28, 31 verbunden sind. Die Durchverbin-

- 9 -

- 1 dung kann genau wie die Elektroden selbst im gleichen Arbeitsgang durch den Auf-
trag einer leitenden Schicht hergestellt sein. Die Fig. 2 lässt außerdem in schemati-
scher Blockschaltbilddarstellung die Verbindung der genannten Anschlüsse zu ei-
ner Geschwindigkeits-Regelelektronik bzw. von einer Rückstellelektronik erken-
nen.

In gleicher Art und Weise sind – im dargestellten Beispiel der Fig. 2 nur für die Grundplatte 26 gezeigt – flächenartige Elektroden 8, 9 bzw. 10, 11 zur Auslesung der durch Drehraten induzierten, rotatorischen Bewegungen, die von den Schwinger 10 1 und 2 auf die Trägerstrukturteile 3a, 3b bzw. 32a, 32b und 4a, 4b bzw. 33c, 33d übertragen werden, ausgebildet. Jede einzelne dieser Elektroden ist über eine metallische Leiterbahn 34, 35, 36, 37, 38 und 39 mit einer kegeligen oder konischen Durchführung 14, 15, 16, 17, 18 verbunden, die ebenfalls metallisiert ist. Die Fig. 3 zeigt für diese Art der Durchkontaktierung ein Ausführungsbeispiel. Nach außen 15 sind die konischen Durchbrüche durch je eine anodisch aufgebondete, leitende Siliciuminsel abgeschlossen, die den Sensor nach oben und unten hin hermetisch abschließen. Diese leitenden Siliciuminseln bilden gleichzeitig oder sind versehen mit Kontaktplättchen 20, 21, 22, 23, 24 und 25. Die Grundplatte 26 und die Deckplatte 27 sind anodisch auf die Rahmen 6, 6' gebondet. Es können identische Deckplatten 20 benutzt werden. Über die Siliciuminseln bzw. die Kontaktplättchen 20 bis 25 kön-
nen die genannten Elektrodenschichten elektrisch kontaktiert werden.

Die Fig. 2 lässt in schematischer Ausführung auch erkennen, wie die beiden Doppelschwinger elektrisch anzuschließen bzw. zu erregen sind. Beispielsweise kann der obere Teilschwinger 1a über den Rahmen an ein Konstantpotential $+U_{konst}$ angeschlossen sein. Der nach Masse führende Kondensator deutet die wechselspannungsmäßige Abschirmung an. Der zweite Teilschwinger 1b wird dann mit Erregerpulsen $+U_{err}$ von einer Antriebselektronik beaufschlagt. Der obere Teil 2b des zweiten Doppelschwingers kann, wie dargestellt, auf Festpotential, beispielsweise Masse, liegen oder aber durch entsprechende negative Pulse $-U_{err}$ von der Antriebselektronik aus beaufschlagt werden.

Im dargestellten Ausführungsbeispiel wurde die Ausleseelektrode für die Schwingerbewegung in die Elektroden 8 und 9 (bzw. 10 und 11) geteilt, wodurch die Möglichkeit besteht, die kapazitive Auslesung symmetrisch auszulegen und Einstreuungen weitgehend zu unterdrücken.

Die Fig. 6 verdeutlicht ein erstes Ausführungsbeispiel für eine Doppelschwinger-

- 1 struktur, die im Prinzip genauso aufgebaut ist wie die oben anhand der Fig. 1 erläuterte, jedoch mit dem Unterschied, daß die ebenfalls jeweils zweilagigen Swinger 1 und 2 nur über einen einzigen schmalen Kondensator-Antriebsspalt 30 erregt werden, pro Schwingerelement 1a, 1b bzw. 2a, 2b jeweils nur ein Anlenksteg 90a bis 90d
5 und jeweils nur ein Trägerteil 4a, 4b bzw. 33c, 33d vorgesehen ist. Weiterhin ist pro Schwingerelement 1 bzw. 2 jeweils ein auf der Stirnseite mittig angeordneter Federsteg 70 bzw. 70' vorgesehen, über den auch der jeweilige elektrische Anschluß erfolgen kann. In den Zwischenebenen, also bezogen auf die inneren Schwingerelemente 1b bzw. 2a, sind gegenüber den mittig angeordneten Federelementen 70, 70' versetzt
10 angeordnete Federstege 71 bis 74 vorhanden. Durch diese versetzte Anordnung der Federstege 70, 70' bzw. 71 bis 74 wird eine erhebliche Erhöhung der Steifigkeit in der jeweiligen Ebene (Waferebene) der Schwingerelemente 1a, 1b bzw. 2a, 2b erreicht.
- 15 Die Fig. 7 verdeutlicht die gegenüber den erstbeschriebenen Ausführungsformen abgewandelte Gestaltung der Rahmenstruktur 6, 6'. Auf der Mitte der Längsseite sind zueinander fluchtende Montageansätze 60 angeformt, während auf einer oder beiden Schmalseiten der Rahmen zueinander versetzt angeordnete Seitenkontakte 40, 41, 42 und 43 ausgebildet sind.
20
- Die Ausführungsform nach Fig. 8 einer doppelagigen Swingerstruktur unterscheidet sich gegenüber der nach Fig. 6 durch die andersartige Ausbildung von einseitigen schräg und zueinander fluchtenden sowie sich überkreuzenden Federstegen 80 bis 83 bzw. 80' bis 83'. Während die eigentliche plattenartige, einseitig anlenkte Swingerstruktur vom freien (linksseitigen) Ende bis zur vorderen, anlenkseitigen Stirnfläche aus einzelnen [100] Si-Wafern besteht, sind die Federstege 80 bis 83 bzw. 80' bis 83' durch anisotropes Ätzen in Vorzugsrichtung, d. h. aus [111]-Ebenen, geformt, und zwar, wie die Fig. 8 gut erkennen läßt, nach Art eines einzigen Kreuzfedergelenks. Wie für den Fachmann ersichtlich ist, bietet die Ausführungsform einer Swingerstruktur nach Fig. 8 einige herstellungstechnische Vorteile bei gleichzeitiger Verbesserung der Steifigkeit in den Waferebenen.
- Schließlich zeigt die Fig. 9 den fertiggestellten Schichtaufbau eines erfundungs-gemäß mikromechanischen Drehratensensors mit einer Swingerstruktur gemäß
35 Fig. 8, jedoch noch ohne die Deckplatten 26 bzw. 27. Die Rahmenstruktur entspricht derjenigen der Fig. 7.

Mit der Erfindung wurde ein vollständig in mikromechanischer Technik herstellba-

- 11 -

- 1 er Drehratensor basierend auf dem Coriolis-Prinzip geschaffen, bei dem zwei
Schwinger über Trägerstrukturen angeregt werden, die so gestaltet sind, daß eine
konstruktive Symmetrie Anregungen von Strukturresonanzen durch äußere Vibra-
tionen vollständig verhindert. Diese Trägerstruktur übernimmt von den Schwingern
5 die durch Drehraten induzierten Drehmomente, wobei die Auslesung über einen
sehr engen Luftspalt erfolgt, der weit kleiner ist als die transversalen Schwingera-
mplituden.

Gegenüber bisher bekannt gewordenen mikromechanischen Drehratensensoren,
10 die auf dem Coriolis-Prinzip basieren, erfolgt gemäß der Erfindung die Anregung der
Schwinger 1, 2 senkrecht zur jeweiligen Waferebene. Die erwähnten Nachteile einer
kapazitiven horizontalen Anregung werden dadurch vermieden, und aufgrund eines
sehr engen Antriebsspals lassen sich vergleichsweise große Kräfte bei relativ klei-
nen Anregungsspannungen erzielen. Weiterhin werden im Gegensatz zu bekannten
15 Drehratensensoren der hier beschriebenen Art nicht die durch Coriolis-Beschleuni-
gungen verursachten Bewegungen der einzelnen Schwingen ausgelesen, die den viel
größeren Anregungsschwingungen überlagert sind. Vielmehr werden die Auswir-
kungen der Coriolis-Beschleunigungen beider Schwingen 1, 2 auf die gemeinsame
Trägerstruktur kapazitiv detektiert. Auf der Trägerstruktur heben sich dadurch die
20 Reaktionskräfte der einzelnen Teilschwingen zumindest weitgehend vollständig auf.
Dem zunächst sich ergebenden Widerspruch, daß für die kapazitive Anregung und
Auslesung möglichst kleine Spalte benötigt werden, andererseits aber für die Bewe-
gung der Teilschwingen möglichst große Spalte, wird erfahrungsgemäß mit der Idee
begegnet, daß die einzelnen Teilschwingen auf einer gemeinsamen Anregungsstruk-
tur sitzen. Diese gemeinsame Anregungsstruktur ermöglicht kleine Anregungsspalte
25 30, während für die Schwingen 1, 2 ein großer Bewegungsspalt 200 gegeben ist.

1

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Mikromechanischer Drehratensor basierend auf dem Coriolis-Prinzip mit zwei elektrostatisch zu Schwingungen in Gegenphase anzuregenden plattenförmigen Schwingern (1, 2), dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Schwingen (1, 2) in zwei Ebenen schichtartig übereinander angeordnet sind und senkrecht zu ihren Plattenebenen zu Schwingungen anregbar sind.
2. Drehratensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwingen (1, 2) an zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils mit einem Teil (3a, 3b bzw. 4a, 4b; 32a, 32b bzw. 33c, 33d) einer plattenartigen, übereinander angeordneten Trägerstruktur verbunden sind, über welche die elektrostatische Schwingungsanregung erfolgt.
3. Drehratensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwingen (1, 2) an einer Seite jeweils mit einem Teil (4a, 4b, 33c, 33d) einer plattenartigen, übereinander angeordneten Trägerstruktur verbunden sind, über welche die elektrostatische Schwingungsanregung erfolgt.
4. Drehratensor nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Eigenfrequenz der Trägerstruktur anders, vorzugsweise höher gewählt ist als die der Schwingen (1, 2), und daß die Trägerstrukturteile jedes Schwingers so gestaltet sind, daß ihre Reaktionskräfte sich gegenseitig aufheben.
5. Drehratensor nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der sich von der Trägerstruktur aus erstreckenden Schwingen geringer ist als die der Trägerstruktur, derart, daß die mögliche Schwingungsamplitude der Schwingen (1, 2) wesentlich größer ist als die durch den Antriebskondensatorspalt (30) für die elektrostatische Schwingungsanregung im Bereich der Trägerstruktur mögliche Erregeramplitude.
6. Drehratensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwingen über jeweils mindestens einen Schwingfeder-Anlenksteg (9a, 9b bzw. 19a, 19b und 9c, 9d bzw. 19c, 19d; 90a bis 90d) geringer Dicke ein Stückig mit der Trägerstruktur verbunden sind.
7. Drehratensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß Trägerstruktur einseitig oder zweiseitig, d. h. jeweils auf der dem Schwingen abgekehrten

- 13 -

- 1 Außenseite über einen Federsteg (70, 70'; 5, 7 bzw. 5', 7') in einem die Anordnung aus Swinger und Trägerstruktur umgebenden Rahmen (6, 6') gehalten ist.
8. Drehratensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Federstege (70, 70'; 5, 7 bzw. 5', 7') als Blattfederelemente gestaltet sind, die rotatorische Auslenkbewegungen der Swinger (1 bzw. 2) gewährleisten und lineare Bewegungen des Swingers (in Richtung $\pm z$) weitgehend unterdrücken.
9. Drehratensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Swinger (1, 2) samt den damit einstückig verbundenen Teilen der Trägerstruktur, der Federstege und des Rahmens aus zwei Lagen von Wafers durch anisotropes Ätzen gebildet sind, die zur Isolation auf den jeweils miteinander verbundenen Flächen oxidiert und durch Waferbonden zu einer Doppelschwingerstruktur miteinander verbunden sind.
10. Drehratensor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Wafer [100]-Si-Wafer sind.
11. Drehratensor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die fluchtend übereinander angeordneten Doppelschwingerstrukturen ober- und unterseitig durch Deckplatten (26, 27), die mit den Rahmen (6, 6') verbondet sind, hermetisch abgedichtet innerhalb des so gebildeten evakuierten oder mit Inertgas unter geringem Druck gefluteten Gehäuses angeordnet sind.
12. Drehratensor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckplatten (26, 27) aus Glas bestehen, die durch anodisches Bonden entlang der Rahmen (6, 6') hermetisch abgedichtet verbunden sind.
13. Drehratensor nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckplatten (26, 27) innenseitig mit flächigen Metallfeldern (8 bis 13) beschichtet sind, die einerseits den beiden Swingen (1, 2) als Schwingungs-Auslese- bzw. -Rückstell-Kondensatorflächen und andererseits den beabstandeten Trägerstrukturteilen als Anregungselektroden bzw. zur Auslesung von durch Drehraten induzierten Bewegungen zugeordnet sind.
14. Drehratensor nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Metallfelder (8 bis 13) über durchkontakteierte Löcher in den Deckplatten (26, 27) elektrisch kontaktierbar sind, die außenseitig durch aufgebondete leitende Verschluß-

- 14 -

- 1 inseln (20 bis 31) verschlossen sind.

- 5 15. Drehratensor nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die leitenden Verschlußinseln durch hochdotiertes Si-Material gebildet sind, die mit den Deckplatten durch anodisches Bonden bzw. Si-Fusionsbonden hermetisch abdichtend verbunden sind.

- 10 16. Drehratensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Rahmen (6a bis 6d) mindestens auf einer Außenseite der Schichtanordnung mit von Waferschicht zu Waferschicht versetzten Ansätzen (40 bis 43) für elektrischen Anschluß versehen sind.

- 15 17. Drehratensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Rahmen (6a bis 6d) an zwei gegenüberliegenden Seiten mit fluchtend übereinander angeordneten Montageansätzen (60, 61) versehen sind.

- 20 18. Drehratensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Trägerstruktur bei einseitiger Halterung außer über jeweils einen jedem Swinger zugeordneten Federsteg (70, 70') mit weiteren, versetzt angeordneten Halte- und Anschlußstegen (71 bis 74) zur Verbindung mit dem jeweiligen Rahmen (6a bis 6d) versehen ist.

- 25 19. Drehratensor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Federstege als unter einem Winkel zu den möglichen Auslenkrichtungen angeordnete Blattfederstege durch anisotropes Ätzen in {111}-Ebenen der jeweiligen Waferschicht gebildet sind.

- 30 20. Drehratensor nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß jede Waferschicht mit zwei Blattfederstegen mit zu einer gedachten Mittellinie entgegengesetzter gleicher Winkelstellung derart versehen ist, daß sich von Schicht zu Schicht eine zueinander fluchtende und sich kreuzende Steganordnung ergibt, die insgesamt ein Kreuzfedergelenk bildet.

Fig.1

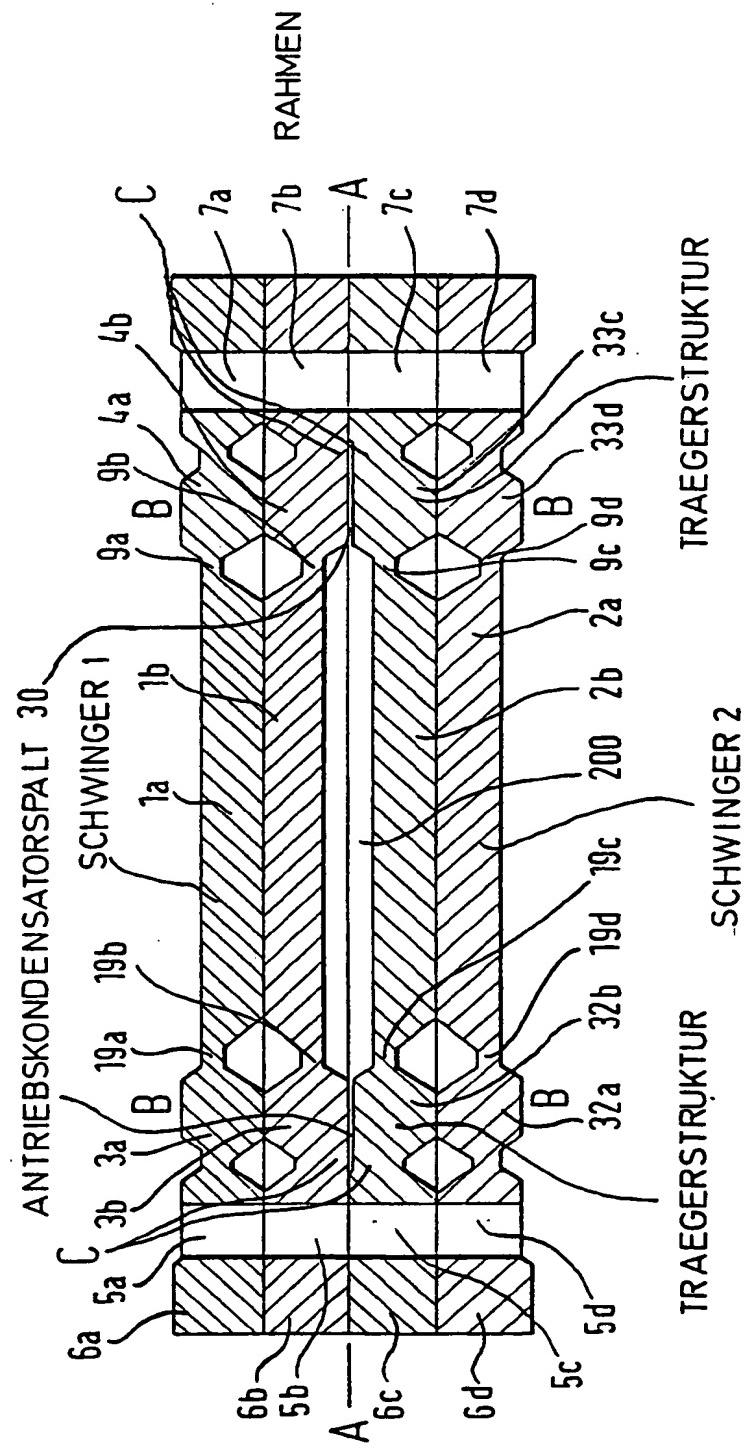
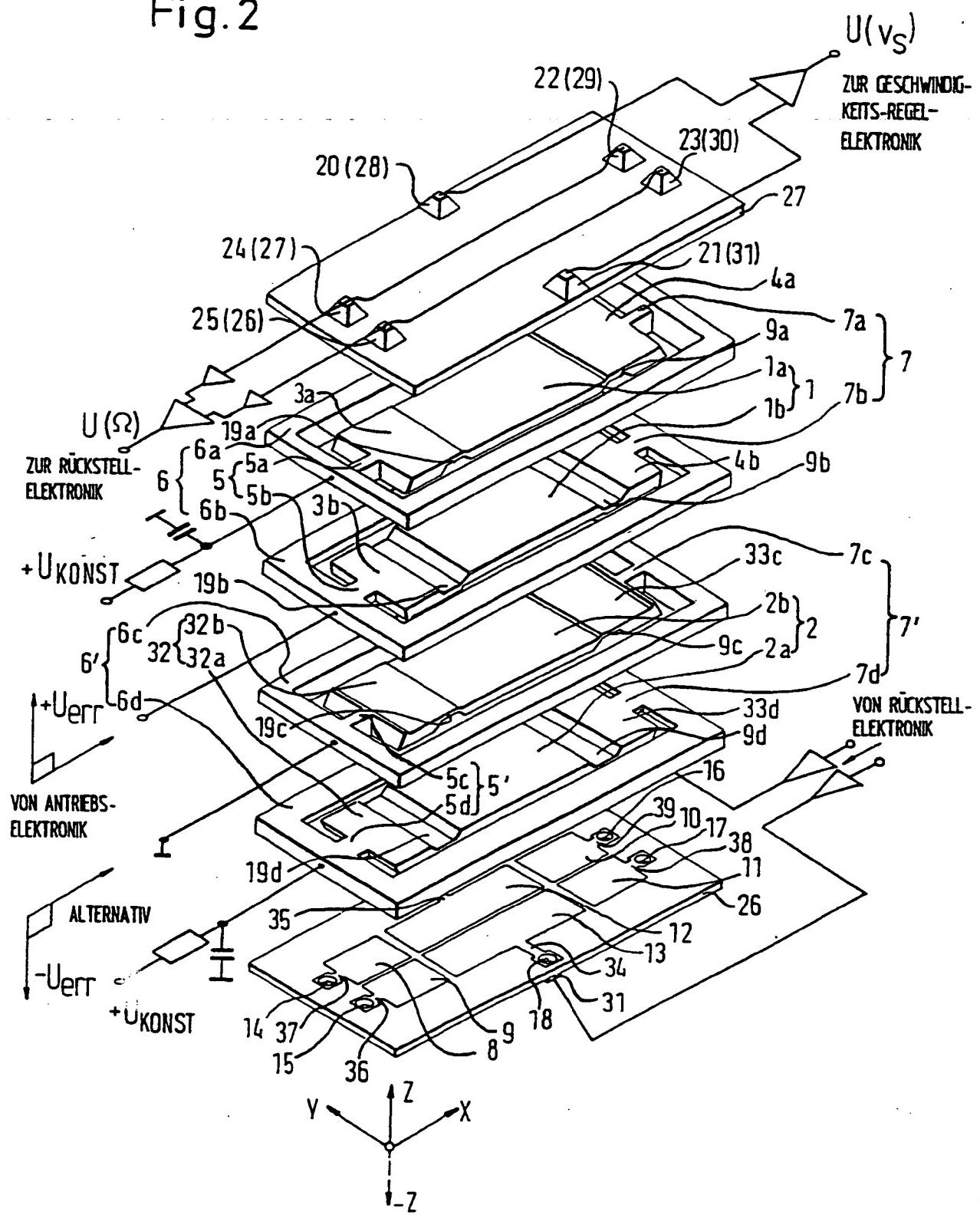
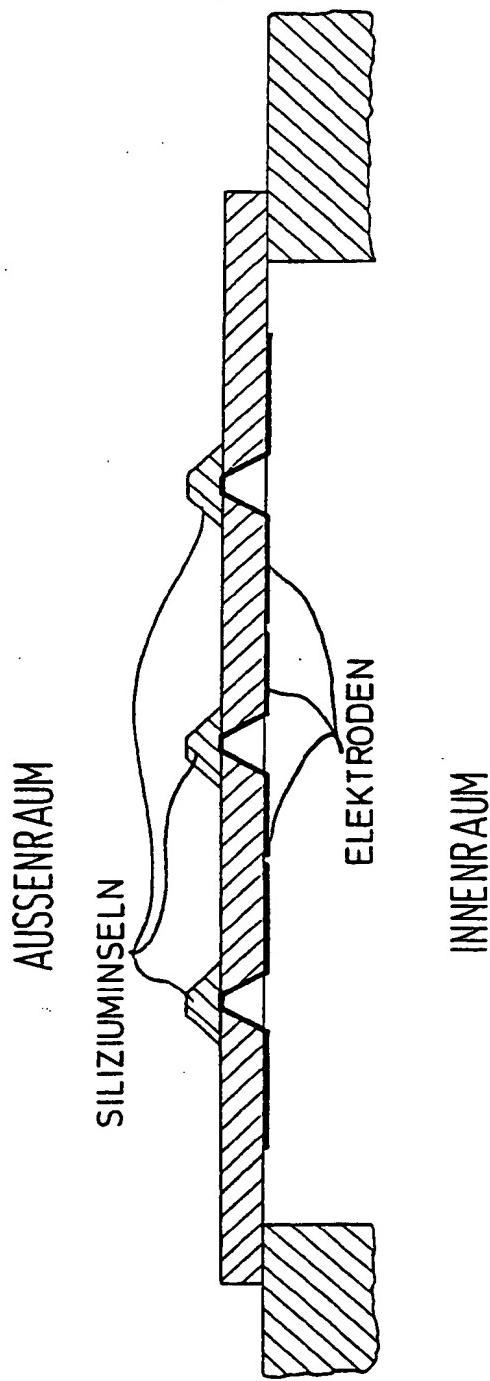


Fig.2



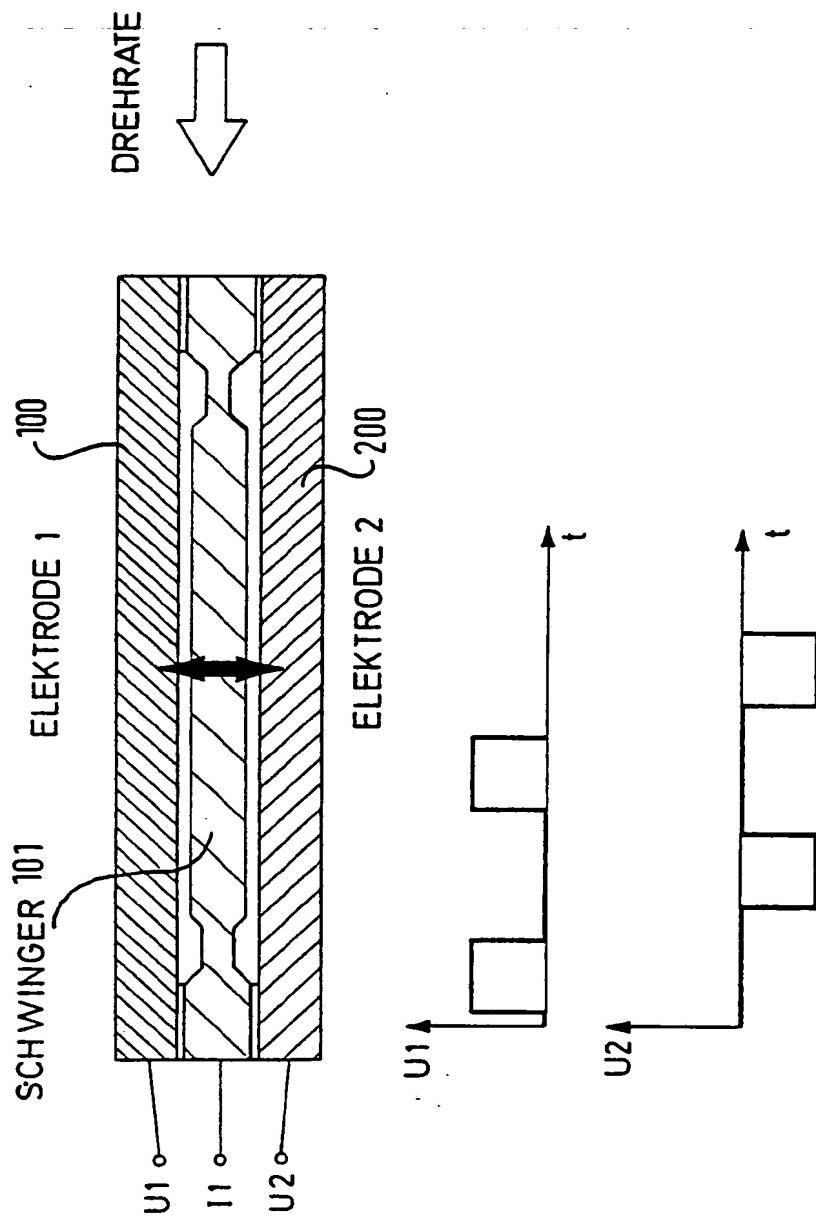
3/7

Fig. 3



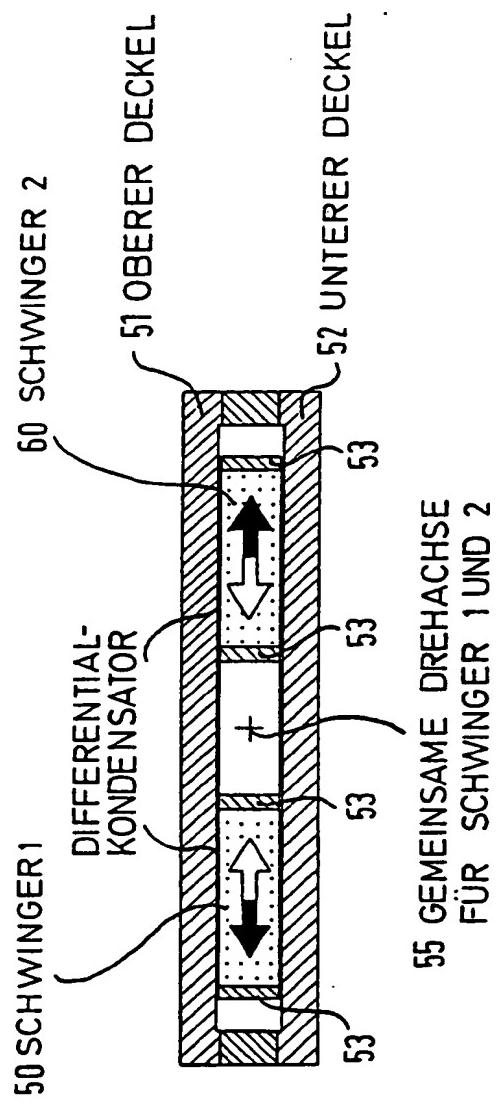
4/7

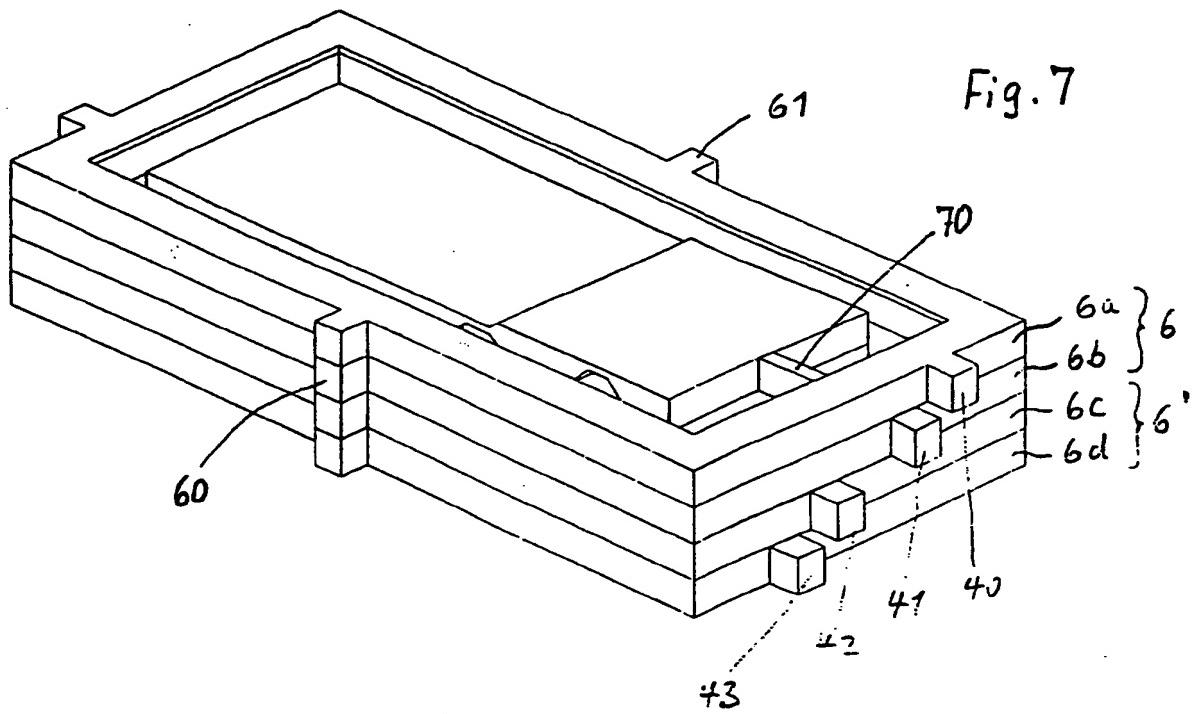
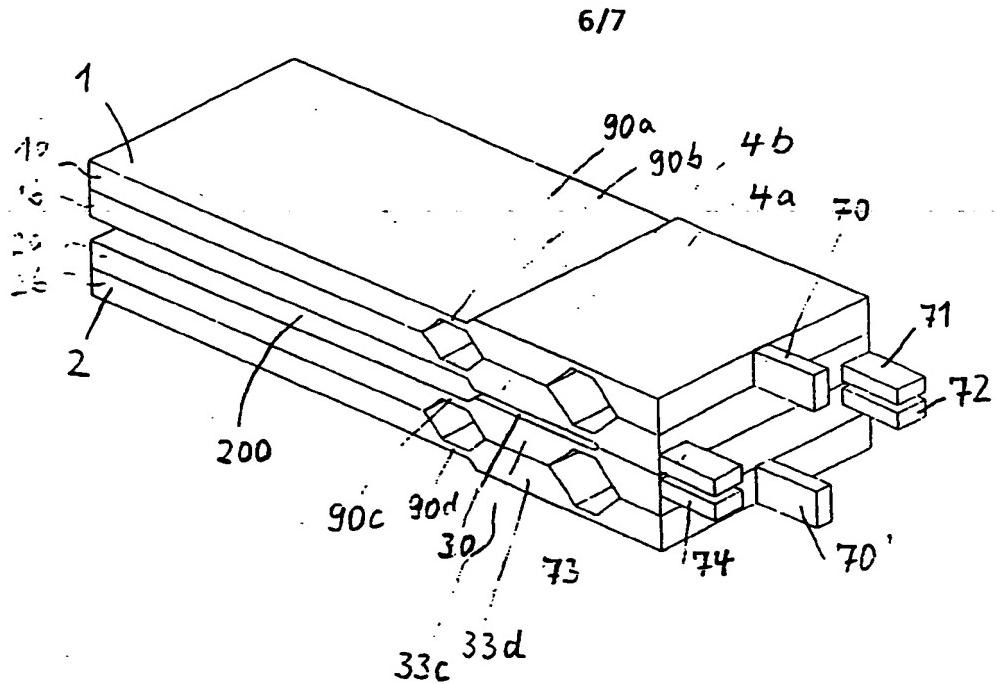
Fig. 4



5/7

Fig. 5





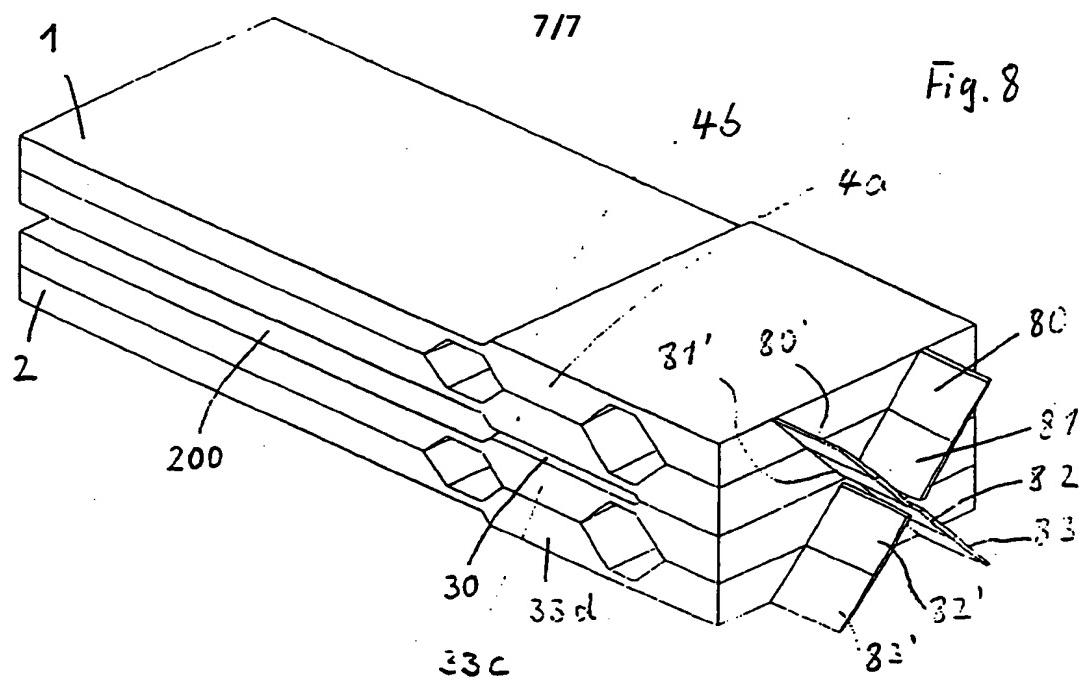


Fig. 8

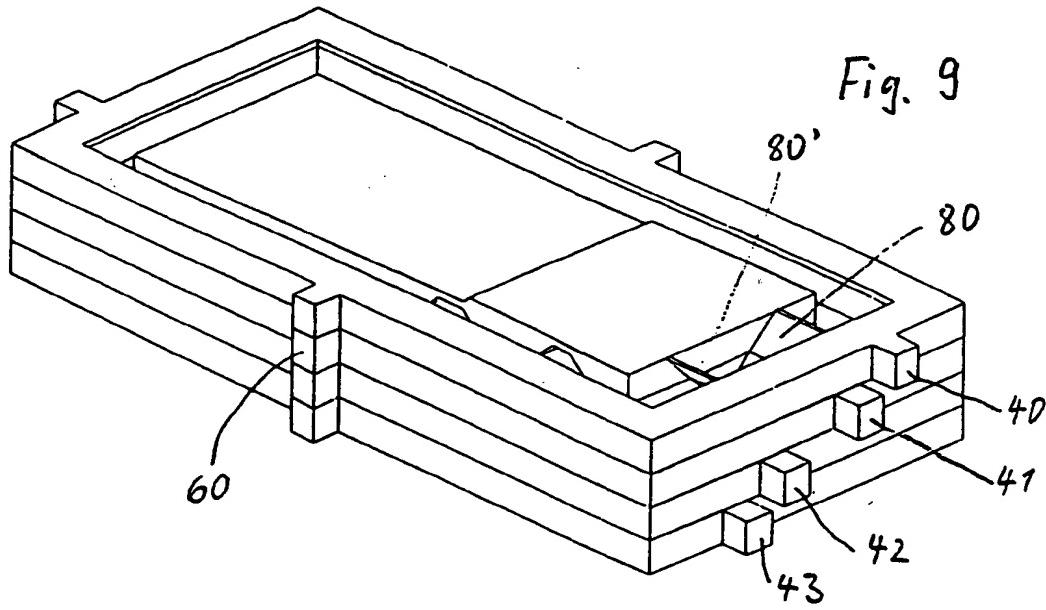


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP 96/02333

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC6: G01C 19/56, G01P 15/08, G01P 9/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC6: G01C, G01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US, A, 5285686 (R.B. PETERS), 15 February 1994 (15.02.94), column 3, line 57 - column 4, line 18, figures 1,2 --	1
A	US, A, 5396798 (R.H. FRISCHE), 14 May 1995 (14.05.95), column 8, line 67 - column 10, line 41, figures 8-11 --	1,2,6,7,9, 11, 19
A	WO, A1, 9208140 (SUNDSTRAND DATA CONTROL, INC.), 14 May 1992 (14.05.92), figure 3, abstract	1,3, 11
A	EP, A1, 0636860 (CITIZEN WATCH CO. LTD.), 1 February 1995 (01.02.95), figures 1-3, abstract -----	1,3

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

- Special categories of cited documents:
- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claimed(s) or which is cited to establish the publication date of another claimed or other special reasons (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "T" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 September 1996 (10.09.96)

Date of mailing of the international search report

02 October 1996 (02.10.96)

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office
Facsimile No.

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

31/07/96

International application No.

PCT/EP 96/02333

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US-A- 5285686	15/02/94	WO-A-	9300589	07/01/93
US-A- 5396798	14/05/95	NONE		
WO-A1- 9208140	14/05/92	US-A-	5176031	05/01/93
EP-A1- 0636860	01/02/95	US-A-	5420548	30/05/95
		WO-A-	9411706	26/05/94
		JP-A-	7167662	04/07/95

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 96/02333

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPC6: G01C 19/56, G01P 15/08, G01P 9/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPC6: G01C, G01P

Recherte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beur. Anspruch Nr.
X	US, A, 5285686 (R.B. PETERS), 15 Februar 1994 (15.02.94), Spalte 3, Zeile 57 - Spalte 4, Zeile 18, Figuren 1,2 --	1
A	US, A, 5396798 (R.H. FRISCHE), 14 Mai 1995 (14.05.95), Spalte 8, Zeile 67 - Spalte 10, Zeile 41, Figuren 8-11 --	1,2,6,7,9, 11,19
A	WO, A1, 9208140 (SUNDSTRAND DATA CONTROL, INC.), 14 Mai 1992 (14.05.92), Figur 3, Zusammenfassung --	1,3,11

 Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen. Siehe Anhang Patentsfamilie.

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung beigelegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie zugeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentsfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

10 September 1996

02.10.96

Nahme und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Bevollmächtigter Bediensteter



Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL-2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Max Olofsson

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 96/02333

C (Fortsetzung). ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP, A1, 0636860 (CITIZEN WATCH CO. LTD.), 1 Februar 1995 (01.02.95), Figuren 1-3, Zusammenfassung -- -----	1,3

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHTAngaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören
31/07/96Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 96/02333

Im Recherchenbericht angefertigtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US-A- 5285686	15/02/94	WO-A-	9300589	07/01/93
US-A- 5396798	14/05/95	KEINE		
WO-A1- 9208140	14/05/92	US-A-	5176031	05/01/93
EP-A1- 0636860	01/02/95	US-A-	5420548	30/05/95
		WO-A-	9411706	26/05/94
		JP-A-	7167662	04/07/95

**BERICHTIGTE
FASSUNG***

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

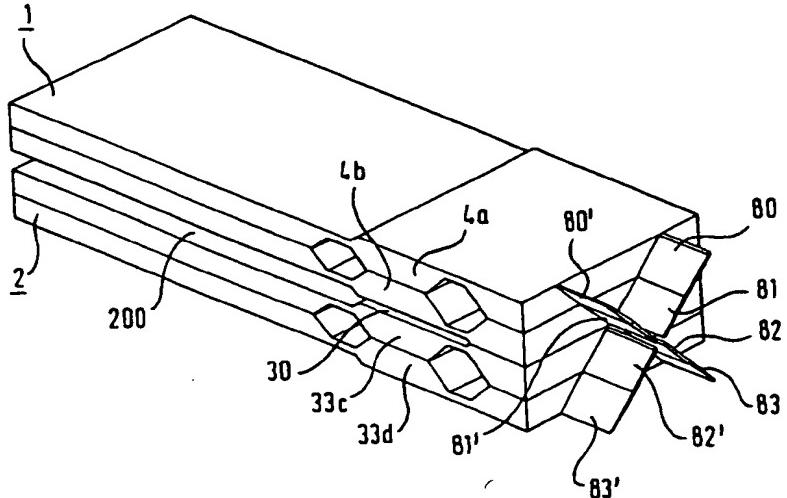
(51) Internationale Patentklassifikation 6 : G01C 19/56, G01P 15/08, 9/04	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 96/38710 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 5. December 1996 (05.12.96)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP96/02333		(81) Bestimmungsstaaten: CA, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 30. Mai 1996 (30.05.96)		
(30) Prioritätsdaten: 195 20 051.9 31. Mai 1995 (31.05.95) DE		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): LITEF GMBH [DE/DE]; Lorracher Strasse 18, D-79115 Freiburg (DE).		
(72) Erfinder; und		
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RYRKO, Bruno, F. [DE/DE]; Jahnstrasse 10, D-79211 Denzlingen (DE). HANDRICH, Eberhard [DE/DE]; Kelterring 104, D-79199 Kirchzarten (DE). BRENG, Uwe [DE/DE]; Am See 8, D-79194 Gundelfingen (DE). HAFEN, Martin [DE/DE]; Suppengasse 21, D-78628 Rottweil (DE).		
(74) Anwalt: MÜLLER, Frithjof, E.; Ter Meer-Müller-Steinmeister & Partner, Mauerkircherstrasse 45, D-81679 München (DE).		

(54) Title: **MICROMECHANICAL ROTATION SPEED SENSOR**

(54) Bezeichnung: **MIKROMECHANISCHER DREHRATENSOR**

(57) Abstract

A micromechanical rotation speed sensor based on the principle of Coriolis contains two flat, mutually flush and superimposed oscillators (1, 2) that may be electrostatically made to oscillate with contrary phases on flat support structures (4a, 4b, 33c, 33d) mutually separated by a very small driving capacitor gap (30). By an appropriate choice of the resonant frequency of the support structures, and by leaving a substantially larger distance between the oscillators (1 and 2), larger oscillation amplitudes and thus a high oscillation quality may be achieved that are not limited by the narrow driving capacitor gap (30) that would be required to achieve a good degree of excitation at small excitation voltages. Both oscillators preferably consist each of two bonded parts that are electrically insulated from each other, suspended on springs (80 to 83, 80' to 83') within a frame and designed in such a way that the oscillators can only describe rotary movements and all linear movements of the oscillators in the direction $\pm z$ are suppressed.



(57) Zusammenfassung

Der auf dem Coriolis-Prinzip basierende mikromechanische Drehratensor enthält zwei elektrostatisch zu Schwingungen in Gegenphase anzuregende, fluchtend übereinander angeordnete plattenförmige Schwinger (1, 2), die über plattenartige Trägerstrukturen (4a, 4b, 33c, 33d), die durch einen sehr kleinen Antriebskondensatorspalt (30) voneinander getrennt sind, zu Schwingungen angeregt werden. Durch geeignete Wahl der Eigenfrequenz der Trägerstrukturteile lassen sich aufgrund eines wesentlich größeren Abstands der Schwinger (1 und 2) größere Schwingungsamplituden und damit eine hohe Schwingergüte erreichen, die nicht durch den aus Gründen einer guten Anregung bei kleinen Erregerspannungen eng ausgebildeten Antriebskondensatorspalt (30) begrenzt werden. Die beiden Swingerstrukturen bestehen vorzugsweise jeweils aus zwei elektrisch gegeneinander isolierten gebundenen Teilen, die über Federn (80 bis 83, 80' bis 83') innerhalb eines Rahmens aufgehängt und so gestaltet sind, daß im wesentlichen nur Drehbewegungen der Schwinger möglich sind und lineare Bewegungen der Schwinger in Raumrichtung $\pm z$ weitgehend unterdrückt werden.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LK	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauritanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

1

Mikromechanischer Drehratensor

Die Erfindung betrifft einen mikromechanischen Drehratensor basierend auf
5 dem Coriolis-Prinzip mit zwei elektrostatisch zu Schwingungen in Gegenphase an-
zuregenden plattensförmigen Schwingern.

Die Messung von Drehraten durch Bestimmung von Coriolis-Kräften ist bekannt
und wird in einigen Sensoren dieser Gattung angewendet.

10

Bei den zur Zeit auf dem Markt erhältlichen Coriolis-Drehratensensoren werden zur
Anregung beispielsweise von Schwingungen und zur Auslesung piezoelektrische Ef-
fekte ausgenutzt; vgl. nur beispielshalber EP 0 563 761 A1, EP 0 563 762 A1, EP 0
520 467 A1, EP 0 520 468 A2, EP 0 533 163 A2, EP 0 460 089 B1, GB 2 251 072 A, CA
15 1 313 065 A, EP 0 298 511 B1, EP 0 318 972 B1, EP 0 638 783 A1 und US 5 247 252 A.

Da die in der Mikrotechnologie für die genannten Zwecke benutzten piezoelektri-
schen Werkstoffe im Vergleich zum Silicium sehr unterschiedliche temperaturab-
hängige Werkstoffparameter besitzen, sind hohe Temperaturabhängigkeit und
20 Nichtwiederholbarkeiten des Nullpunkts solcher Drehratensensoren die Folge, die
deren Anwendungsbereich stark einschränken.

Drehratensensoren mit mikromechanischen Elementen sind bereits erhältlich. Da-
gegen sind rein mikromechanische Lösungen für einen kompakten Sensor bis heute
25 nicht auf dem Markt. Jedoch sind aus Patentveröffentlichungen mikromechanische
Lösungen bekannt, bei denen Coriolis-Beschleunigungen gemessen werden; vgl. US
5 101 702 A, CH 682 844 A5, GB 2 251 688 A, DE 40 22 495 A1, EP 0 574 143 A1, EP 0
634 629 A1, US 5 203 208 A, EP 0 442 280 A2, US 4 750 364 A, EP 0 623 807 A, EP 0
620 415 A1, GB 2 276 241 A, US 4 884 446 A und DE 40 41 582 A1.

30

Für schwingende Strukturen in mikromechanischer Ausfertigung in Si-Technologie
bieten sich kapazitive Aktoren zur Anregung bzw. kapazitive Brückenschaltungen
zur Auslesung an; vgl. GB 92 00930, EP 0 586 437 A1, US 5 207 685 A, DE 40 41 582
A1.

35

Für den kapazitiven Antrieb einer schwingenden mikromechanischen Struktur ist
die wirksamste Kraftrichtung die senkrecht zwischen zwei gegenüberstehenden,
entgegengesetzt gepolten Platten. Aus diesem Grund ist es zweckmäßig, für eine sol-

- 1 che schwingende Struktur eine Anordnung zu wählen, bei der zwei entgegengesetzt
gepolte Platte 100 bzw. 200 für den Antrieb des Schwingers 101 benutzt werden kön-
nen (vgl. Fig. 4). Die schematischen Signaldiagramme unterhalb der Schnittdarstel-
lung des Schwingers verdeutlichen die Pulse der Anregungssignale, mit denen die
5 obere Platte 100 (Elektrode 1) bzw. die untere Platte 200 (Elektrode 2) beaufschlagt
werden.

Verwendet man sehr kleine Abstände der beiden Antriebskondensatorflächen zwi-
schen der oberen Platte 100 und dem Swinger 101 einerseits bzw. zwischen der
10 unteren Platte 200 und dem Swinger 101 andererseits, so lassen sich mit ver-
gleichsweise kleinen Spannungen (z. B. 5 V) hinreichend große Antriebskräfte errei-
chen.

Nachteilig an dieser prinzipiell bekannten Anordnung nach Fig. 4 (vgl. etwa US
15 4 884 446) ist jedoch, daß die kleinen Abstände der Antriebskondensatorflächen
zugleich die maximale Swingeramplitude des Schwingers 101 auf einen Bruchteil
eben dieser Kondensatorplattenabstände einschränken und für kleine Swinger-
dämpfungen sehr hohe Anforderungen an die Gasatmosphäre gestellt werden müs-
sen, innerhalb derer sich die Swingeranordnung befindet.

20 Unter dem Einfluß der Coriolis-Beschleunigung wird eine zur Swingerbewegung
orthogonale Amplitude erzeugt, die zur Messung der Drehrate benutzt werden kann.
Im Beispiel nach Fig. 4 erzeugt die eingezeichnete Drehrate Coriolis-Kräfte, die aus
der Bildebene herauszeigen. Diese Anordnung hat jedoch den weiteren Nachteil,
25 daß die Reaktionskräfte der Swingerbewegung in die Umgebung des Sensors ein-
geleitet werden und Störungen der Meßwerte hervorrufen können.

Zur Vermeidung dieses letztgenannten Nachteils sind Doppelschwinger-Anordnun-
gen vorgeschlagen worden, wie sie die Fig. 5 zeigt (vgl. auch GB 2 251 688 A). Der er-
30 ste Swinger 50 und der zweite Swinger 60 bewegen sich gegenphasig. Eine
Drehrate, deren Vektor senkrecht auf der Zeichenebene steht, erzeugt Drehmomen-
te um diese gemeinsame Drehachse 55 in der Frequenz der Swingerbewegungen.
Mit dieser bekannten Anordnung lassen sich große Swingeramplituden errei-
chen. Diese Anordnung hat jedoch den Nachteil, daß bei kapazitivem Antrieb über
35 Differentialkondensatoren die Antriebskräfte zwischen Flächen wirken, die senk-
recht zur Waferebene liegen und nur schwierig mit kleinen Abständen exakt parallel
zueinander herzustellen sind. Ungleiche Luftspalte an den Schwiegern 50, 60 wir-
ken sich dann als Anregung um die Drehachse aus und beeinflussen den Nullpunkt

1 des Sensors erheblich. Dieser Effekt ist temperaturabhängig. Ein weiterer Nachteil dieser Anordnung mit kapazitiver Anregung besteht in den relativ kleinen Antriebskräften, was man gemäß neueren Vorschlägen durch kammartige Elektroden zu ver-

ringern sucht.

5

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen mikromechanischen Drehratesensor nach dem Coriolis-Prinzip zu schaffen, bei dem Störungen von Meßwerten durch Reaktionskräfte aufgrund von Schwingerbewegungen nicht auftreten und bei dem trotz erwünschter kleiner Abstände von Antriebskondensatorflächen prinzipiell keine oder wesentlich weniger Einschränkungen hinsichtlich einer zulässigen Schwingeramplitude zu berücksichtigen sind und der in mikromechanischer Technik kostengünstig herstellbar ist.

10 Die erfindungsgemäß Lösung besteht bei einem mikromechanischen Drehratesensor, der auf dem Coriolis-Prinzip basiert und zwei elektrostatisch zu Schwingungen in Gegenphase anzuregende plattenförmige Schwinger aufweist, darin, daß die Schwinger aus einkristallinen Wafern in mikromechanischer Technik hergestellt werden können und in zwei Ebenen schichtartig senkrecht zur Waferebene übereinander angeordnet sind und die Schwingungsrichtung senkrecht zur Plattenebene 20 liegt. Damit kann eine kostengünstige Herstellung mit mikromechanischen Verfahren erfolgen, wie z. B. Ätzen und Waferbonden.

25 Die Schwinger sind erfindungsgemäß an einer Seite oder an zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils mit einem Teil einer plattenartigen Trägerstruktur verbunden, über welche die elektrostatische Schwingungsanregung senkrecht zur Waferebene erfolgt, wobei die Eigenfrequenz der Trägerstruktur vorzugsweise höher gewählt ist als die der Schwinger. Weiterhin sind die Trägerstrukturteile so gestaltet, daß ihre Reaktionskräfte sich gegenseitig aufheben.

30 Um (noch) größere Schwingungsamplituden senkrecht zur Waferebene für die Schwinger zuzulassen, ist die Dicke der zwischen den beiden Teilen der Trägerstruktur verlaufenden Schwinger deutlich geringer als die der zur Schwingungsanregung dienenden Trägerstruktur. Die Dicke der Trägerstruktur andererseits ist so gewählt, daß sich möglichst kleine Antriebskondensatorpalte für die elektrostatische Schwingungsanregung im Bereich der Trägerstruktur ergeben.

35 Die Schwinger sind vorzugsweise über jeweils mindestens einen Anlenksteg geringer Dicke einstückig mit den Teilen der Trägerstruktur verbunden. Diese einstücki-

1 ge Swinger-Träger-Kombination ist nun ihrerseits einseitig oder beidseitig durch
jeweils einen Federsteg in einem die Anordnung aus Swinger und Trägerstruktur
umgebenden Rahmen gehalten, wobei der Federsteg vorzugsweise als Blattfederele-
ment oder als schrägstehendes Federelement gestaltet ist, das im wesentlichen nur
5 lineare Auslenkbewegungen des Swingers zuläßt und Drehbewegungen des
Schwingers unterdrückt.

Eine vorteilhafte Realisierung eines solchen mikromechanischen Drehratensensors
besteht darin, die Swinger samt den über die Anlenkstege damit einstückig ver-
10 bundenen Teilen der Trägerstruktur und des Rahmens aus zwei Lagen eines Wafers
vorzugsweise durch anisotropes Ätzen zu bilden, die zur gegenseitigen Isolation auf
der jeweils einander zugekehrten Fläche oxidiert und die durch Silicium-Fusions-
bonding miteinander zu einer Doppelschwingerstruktur verbunden sind. Die fluch-
tend übereinander angeordneten Doppelschwingerstrukturen sind dann ober- und
15 unterseitig durch nicht-leitende Deckplatten, die mit den Rahmen verbondet sind,
hermetisch abgedichtet. Die Swingerstrukturen befinden sich dann in dem so ge-
bildeten Gehäuse im Vakuum oder in einer Inertgasatmosphäre unter geringem
Druck.

20 Die Erfindung und weitere vorteilhafte Einzelheiten werden nachfolgend unter Be-
zug auf die Zeichnungen in einer beispielweisen Ausführungsform näher erläutert.
Es zeigen:

Fig. 1 die Schnittdarstellung einer Doppelschwingerstruktur eines Drehrate-
25 sensors nach dem Coriolis-Prinzip mit erfundungsgemäßen Merkmalen;

Fig. 2 in auseinandergesetzter Darstellung den Schichtaufbau der Doppel-
schwingerstruktur nach Fig. 1, hergestellt aus insgesamt vier Waferebenen
mit Ergänzung durch eine ober- und eine unterseitige Deckplatte;

30 Fig. 3 die Prinzip-Schnittdarstellung einer Deckplatte zur Verdeutlichung der
Durchkontaktierung von auf deren Innenflächen aufgebrachten Elektro-
den;

35 Fig. 4 eine bereits erläuterte bekannte Plattenschwingerstruktur;

Fig. 5 eine ebenfalls bereits erläuterte bekannte Doppelschwingerstruktur mit in
einer Ebene nebeneinander angeordneten Schwiegern;

- 1 Fig. 6 die perspektivische Teilansicht einer Doppelschwingerstruktur mit erfundensgemäßen Merkmalen, die einseitig angelenkt ist;
- 5 Fig. 7 eine der Fig. 6 entsprechende Doppelschwingerstruktur einschließlich einer umgebenden Rahmenanordnung, jedoch ohne obere und untere Deckplatten;
- 10 Fig. 8 eine der Fig. 6 entsprechende Doppelschwingerstruktur mit einseitiger Anlenkung über in einer {111}-Ebene liegenden Anlenkstegen, die insgesamt eine Art Kreuzfedergelenk bilden; und
- Fig. 9 die Doppelschwingerstruktur der Fig. 8 innerhalb einer umgebenden Rahmenanordnung wiederum ohne obere und untere Deckplatten.
- 15 Die Fig. 1 zeigt zunächst in Schnittdarstellung den prinzipiellen Aufbau und die Anordnung einer zweilagigen Schwingerstruktur für einen mikromechanischen Drehratensensor mit Ausnutzung von Coriolis-Kräften zur Gewinnung eines Drehraten-sIGNALS.
- 20 Im Gegensatz zu dem bekannten Aufbau nach Fig. 5 (vgl. auch GB 2 251 688 A) mit zwei nebeneinanderliegenden, entgegengesetzt schwingenden Massen liegen bei dem Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung nach Fig. 1 die entgegengesetzt schwingenden Strukturen nicht in einer Ebene nebeneinander, sondern in ver-schiedenen Ebenen übereinander, und zwar so, daß die Reaktionskräfte der
- 25 Schwingerdynamik sich gegenseitig vollständig aufheben.

Im dargestellten Beispiel weist die Schwingeranordnung zwei jeweils doppelstagige Schwingerelemente 1a, 1b bzw. 2a, 2b auf, die jeweils zu beiden Seiten über Anlenkstege 9a, 19a bzw. 9b, 19b und – bezogen auf den unteren Schwinger 2a, 2b über Anlenkstege 9c, 19c bzw. 9d, 19d einstückig mit plattenartigen Trägerteilen 4a, 3a bzw. 4b, 3b einerseits und 33c, 33d bzw. 32a, 32b andererseits verbunden sind. Die Trägerteile 3a, 3b und 4a, 4b bzw. 32b, 32a und 33c, 33d sind ihrerseits über Federstege 5, d. h. 5a, 5b, 5c und 5d, bzw. 7, d. h. 7a, 7b, 7c und 7d, mit einem umlaufenden Rahmen 6, d. h. 6a, 6b, 6c, 6d ebenfalls einstückig verbunden. Die einzelnen Lagen oder Schichten bestehen also, beispielsweise bezogen auf die in Fig. 1 oberste Lage, einstückig aus dem Rahmen 6a, verbunden über den Federsteg 5a mit dem Trägerteil 3a, das über den Anlegsteg 19a mit dem Schwingerelement 1a verbunden ist, das rechtsseitig über den Anlenksteg 9a in das rechtsseitige Trägerteil 4a über-

1 geht, das wiederum über den Federsteg 7a mit dem rechtsseitigen Teil des Rahmens
6a verbunden ist. Eine derartige Swingerstruktur ist aus einem Wafermaterial
hergestellt, beispielsweise durch einen anisotropen Ätzprozeß. Zwischen den ein-
zernen Lagen der zweilagigen Doppelswingerstruktur sind die Waferplatten oxi-
5 diert, also gegeneinander elektrisch isoliert, und sodann durch Si-Fusionsbonding
miteinander verbunden.

Wie die Fig. 1 gut erkennen läßt, ist der Abstand zwischen dem oberen Swinger 1a,
1b und dem unteren Swinger 2a, 2b vergleichsweise groß, so daß auch große
10 Schwingungsamplituden möglich sind. Andererseits ist ein Antriebskondensator-
spalt 30 zwischen den linksseitigen Trägerteilen 3a, 3b bzw. 32b, 32a einerseits und
den rechtsseitigen Trägerteilen 4a, 4b bzw. 33c, 33d erwünschterweise relativ klein,
so daß eine gute Schwingungsanregung mit vergleichsweise niedrigen Pegeln einer
Pulsspannung möglich ist. Wie oben erwähnt, wird die Eigenfrequenz der im Ver-
gleich zu den Swingelementen dickeren Trägerstrukturteile 3a, 3b und 4a, 4b
15 bzw. 32b, 32a und 33c, 33d anders, insbesondere höher, gewählt als die Eigenfre-
quenz der beiden Swingers 1a, 1b und 2a, 2b.

Die zur Aufhängung bzw. Halterung der beiden Doppelswingerstrukturen im
20 Rahmen 6 mit den Rahmen Teilen 6a bis 6d dienenden Federstege 5a bis 5d bzw. 7a
bis 7d sind - wie die Fig. 2 besser erkennen läßt - als Blattfederelemente gestaltet,
die für Drehbewegungen um die y-Achse (A-A) nachgiebig sind und lineare Bewegun-
gen in der +z- bzw. -z-Richtung weitgehend unterdrücken.

25 Ersichtlicherweise wird im Gegensatz zur bekannten Doppelswingeranordnung
nach Fig. 5 der Doppelswinger nach Fig. 1 bzw. Fig. 2 nicht direkt, sondern über
die Trägerstruktur 3a, 3b und 4a, 4b bzw. 32b, 32a und 33c, 33d angeregt. Diese
Trägerstruktur hat eine größere Steifigkeit als die Swingers 1a, 1b bzw. 2a, 2b und
verursacht nur kleine Bewegungen bei der Resonanzfrequenz der Swingers, teilt
30 jedoch den Swingen, die, wie dargelegt, einen großen Abstand bzw. Freiraum 200
zum Aufbau einer größeren Swingeramplitude haben, diese Anregung mit. Da die
Swingers 1a, 1b bzw. 2a, 2b nicht direkt angetrieben werden, kann dieser Freiraum
200 im Prinzip beliebig groß gestaltet werden, womit sich eine gute Stabilität bei ho-
her Gütezahl für die Swingers erreichen läßt. Andererseits kann der Kondensator-
35 spalt 30 für die Anregung im Sub-Mikrometerbereich gewählt werden, wodurch sich
auch bei kleinen Spannungen ausreichend große Antriebskräfte erzielen lassen. Die
Swingeramplitude summiert sich bei ausreichend geringer Dämpfung und ge-
eigneter Anregungsphase über die Antriebsamplituden zu Swingeramplituden.

- 7 -

1 die um Größenordnungen höher liegen können. Der größere Abstand der Schwinger
1 und 2 voneinander und von den umgebenden Bauteilen ermöglicht die oben erwähnte hohe Schwingergüte.

5 Eine Besonderheit der dargestellten Konstruktion ist auch darin zu sehen, daß die Antriebskräfte sich nicht auf einer Basisstruktur abstützen, von der sie auf die sich entgegengesetzt bewegenden Hälften der Trägerstruktur 3, 4 bzw. 32, 33 übertragen werden müssen. Die Antriebskräfte werden vielmehr ausschließlich direkt zwischen den beiden jeweiligen Hälften der Trägerstruktur wirksam.

10

Da sich beide doppelagigen Schwinger 1, 2 entgegengesetzt bewegen, werden bei dieser Anordnung keine Reaktionskräfte nach außen abgegeben. Umgekehrt werden transversale Störungen von außen infolge der entgegengesetzten Schwingerbewegungen auf beide Schwinger mit entgegengesetztem Sinn wirksam, so daß sich ihre Einflüsse im Ausgangssignal gegenseitig aufheben.

Bei Drehbewegungen des gesamten Sensors um die Achse A-A werden die beiden Schwinger 1, 2 aus ihrer Schwingungsebene entgegengesetzt herausbewegt. Als Folge entsteht ein zur Schwingerbewegung synchrones Drehmoment um die Achse A-A, 20 welches die Trägerstruktur mitnimmt. Da die Trägerstruktur 3, 4 zusammen mit den Schwiegern 1, 2 in einem Rahmen befestigt ist, lassen sich Drehbewegungen im Bereich B der Trägerstruktur kapazitiv auslesen. Dabei kann die linke Hälfte der Trägerstruktur 3a, 3b bzw. 32a, 32b einerseits und die rechte Hälfte der Trägerstruktur 4a, 4b bzw. 33c, 33d andererseits getrennt ausgelesen werden. Auf diese 25 Art können also entweder Einwirkungen von Drehungen um die zur Bildmitte orthogonale Achse im Signal kompensiert und/oder in einem zweiten Kanal gemessen werden.

Im dargestellten Beispiel sind die Schwinger und die Trägerstruktur zur Erhöhung 30 der Drehsteifigkeit um die zur Zeichenebene orthogonale Achse durch die erwähnten parallelen als Blattfedern gestalteten Federstege 5, 7 bzw. 5', 7' gehalten. Diese Blattfederelemente lassen Drehbewegungen der Schwinger um die y-Achse zu. Werden die Teile 1a bzw. 1b und 2a bzw. 2b der beiden Doppelschwingerstrukturen wie oben erwähnt durch Oxidschichten gegeneinander isoliert, so sind die Potentiale für 35 die Anregung und für die Auslesung galvanisch getrennt, so daß sich erhebliche Vorteile für die Geschwindigkeitsregelung sowie für die Ankopplung und Auslegung der Rückstellelektronik und der Antriebselektronik ergeben.

- 8 -

1 Da die Trägerstruktur in den Bereichen B (vgl. Fig. 1) nur sehr kleine Bewegungen ausführt, ergibt sich der weitere Vorteil, daß mittels der kleinen Antriebskondensatorpalte 30 eine große Empfindlichkeit für die Auslesung von Drehbewegungen erreicht werden kann.

5

Die zur Auslesung der Schwingerbewegungen, also der Erregerschwingungen, und die zur Auslesung der Drehbewegungen im Bereich der Trägerstruktur (drehrate-induziert) benötigten Elektroden lassen sich auf der jeweiligen Innenseite von die Schwingerstruktur abschließenden Grund- und Deckplatten 26 bzw. 27 als Metallbelag aufbringen.

10

Um die notwendige geringe Dämpfung der beiden Schwinger zu erzielen, muß ein über die Lebensdauer des Sensors stabiler Unterdruck in der Schwingerumgebung aufrechterhalten werden. Die notwendige Dichtigkeit des Gehäuses kann durch die 15 anodisch gebondeten Grund- bzw. Deckplatten 26 und 27 aus einem nichtleitenden Material, z. B. aus Glas, erreicht werden. Die Elektrodenanschlüsse werden über Durchbrüche in der Grund- bzw. Deckplatte durchkontakteert und durch ebenfalls gebondete Si-Inseln gasdicht abgeschlossen, was nun nachfolgend mit Bezug auf die Fig. 2 näher ausgeführt wird.

20

Diese Fig. 2 zeigt die auseinandergezogene Explosionsdarstellung eines vollständigen mikromechanischen Drehratensensors erfundungsgemäßer Bauart. Die vier mittleren schichtartigen Schwingerstrukturen wurden bereits anhand der Fig. 1 erläutert. Der obere Swinger 1 besteht aus den beiden Teilen 1a und 1b, die an den 25 gegenseitigen Berührungsflächen zur Isolation oxidiert und durch Si-Fusionsbonding (SFB) fest verbunden sind. Der Swinger 2 mit seinen Teilen 2a und 2b ist analog aufgebaut. Die Schwinger 1 und 2 werden in Gegenphase zu Schwingungen angeregt.

30 Zur Einstellung einer gewünschten Nachgiebigkeit kann die Stärke der Anlenkstege 9a, 9b bzw. 19a, 19b und 9c, 9d bzw. 19c, 19d, die eine grabenähnliche Vertiefung bilden, entsprechend gewählt werden.

35 Die Auslesung der transversalen Schwingerbewegungen in Richtung +z bzw. -z erfolgt durch als Metallbeläge ausgebildete Kondensatorflächen 12 und 13, die innenseitig auf die beiden bondfähigen Isolierplatten, also die Deckplatte 27 und die Grundplatte 26, aufgebracht sind und über Durchbrüche in diesen Isolierschichten mit gebondeten Siliciuminseln 20, 21 bzw. 28, 31 verbunden sind. Die Durchverbin-

1 dung kann genau wie die Elektroden selbst im gleichen Arbeitsgang durch den Auf-
trag einer leitenden Schicht hergestellt sein. Die Fig. 2 lässt außerdem in schemati-
scher Blockschaltbilddarstellung die Verbindung der genannten Anschlüsse zu ei-
ner Geschwindigkeits-Regelelektronik bzw. von einer Rückstellelektronik erken-
nen.
5

In gleicher Art und Weise sind – im dargestellten Beispiel der Fig. 2 nur für die
Grundplatte 26 gezeigt – flächenartige Elektroden 8, 9 bzw. 10, 11 zur Auslesung
der durch Drehraten induzierten, rotatorischen Bewegungen, die von den Schwin-
gern 1 und 2 auf die Trägerstrukturteile 3a, 3b bzw. 32a, 32b und 4a, 4b bzw. 33c,
33d übertragen werden, ausgebildet. Jede einzelne dieser Elektroden ist über eine
metallische Leiterbahn 34, 35, 36, 37, 38 und 39 mit einer kegeligen oder konischen
Durchführung 14, 15, 16, 17, 18 verbunden, die ebenfalls metallisiert ist. Die Fig. 3
zeigt für diese Art der Durchkontaktierung ein Ausführungsbeispiel. Nach außen
15 sind die konischen Durchbrüche durch je eine anodisch aufgebondete, leitende Sili-
ciuminsel abgeschlossen, die den Sensor nach oben und unten hin hermetisch ab-
schließen. Diese leitenden Siliciuminseln bilden gleichzeitig oder sind versehen mit
Kontaktplättchen 20, 21, 22, 23, 24 und 25. Die Grundplatte 26 und die Deckplatte
27 sind anodisch auf die Rahmen 6, 6' gebondet. Es können identische Deckplatten
20 benutzt werden. Über die Siliciuminseln bzw. die Kontaktplättchen 20 bis 25 kön-
nen die genannten Elektrodenschichten elektrisch kontaktiert werden.
20

Die Fig. 2 lässt in schematischer Ausführung auch erkennen, wie die beiden Doppel-
schwinger elektrisch anzuschließen bzw. zu erregen sind. Beispielsweise kann der
25 obere Teilschwinger 1a über den Rahmen an ein Konstantpotential $+U_{konst}$ ange-
schlossen sein. Der nach Masse führende Kondensator deutet die wechselspan-
nungsmäßige Abschirmung an. Der zweite Teilschwinger 1b wird dann mit Erreger-
pulsen $+U_{err}$ von einer Antriebselektronik beaufschlagt. Der obere Teil 2b des zwei-
30 ten Doppelschwingers kann, wie dargestellt, auf Festpotential, beispielsweise Mas-
se, liegen oder aber durch entsprechende negative Pulse $-U_{err}$ von der Antriebselek-
tronik aus beaufschlagt werden.

Im dargestellten Ausführungsbeispiel wurde die Ausleseelektrode für die Schwinger-
bewegung in die Elektroden 8 und 9 (bzw. 10 und 11) geteilt, wodurch die Mög-
35 keit besteht, die kapazitive Auslesung symmetrisch auszulegen und Einstreuungen
weitgehend zu unterdrücken.

Die Fig. 6 verdeutlicht ein erstes Ausführungsbeispiel für eine Doppelschwinger-

- 10 -

- 1 struktur, die im Prinzip genauso aufgebaut ist wie die oben anhand der Fig. 1 erläuterte, jedoch mit dem Unterschied, daß die ebenfalls jeweils zweilagigen Swinger 1 und 2 nur über einen einzigen schmalen Kondensator-Antriebsspalt 30 erregt werden, pro Schwingerelement 1a, 1b bzw. 2a, 2b jeweils nur ein Anlenksteg 90a bis 90d und jeweils nur ein Trägerteil 4a, 4b bzw. 33c, 33d vorgesehen ist. Weiterhin ist pro Schwingerelement 1 bzw. 2 jeweils ein auf der Stirnseite mittig angeordneter Federsteg 70 bzw. 70' vorgesehen, über den auch der jeweilige elektrische Anschluß erfolgen kann. In den Zwischenebenen, also bezogen auf die inneren Schwingerelemente 1b bzw. 2a, sind gegenüber den mittig angeordneten Federelementen 70, 70' versetzt angeordnete Federstege 71 bis 74 vorhanden. Durch diese versetzte Anordnung der Federstege 70, 70' bzw. 71 bis 74 wird eine erhebliche Erhöhung der Steifigkeit in der jeweiligen Ebene (Waferebene) der Schwingerelemente 1a, 1b bzw. 2a, 2b erreicht.
- 10 15 Die Fig. 7 verdeutlicht die gegenüber den erstbeschriebenen Ausführungsformen abgewandelte Gestaltung der Rahmenstruktur 6, 6'. Auf der Mitte der Längsseite sind zueinander fluchtende Montageansätze 60 angeformt, während auf einer oder beiden Schmalseiten der Rahmen zueinander versetzt angeordnete Seitenkontakte 40, 41, 42 und 43 ausgebildet sind.
- 20 25 Die Ausführungsform nach Fig. 8 einer doppelagigen Swingerstruktur unterscheidet sich gegenüber der nach Fig. 6 durch die andersartige Ausbildung von einseitigen schräg und zueinander fluchtenden sowie sich überkreuzenden Federstegen 80 bis 83 bzw. 80' bis 83'. Während die eigentliche plattenartige, einseitig angelenkte Swingerstruktur vom freien (linksseitigen) Ende bis zur vorderen, anlenkseitigen Stirnfläche aus einzelnen [100] Si-Wafern besteht, sind die Federstege 80 bis 83 bzw. 80' bis 83' durch anisotropes Ätzen in Vorzugsrichtung, d. h. aus [111]-Ebenen, geformt, und zwar, wie die Fig. 8 gut erkennen läßt, nach Art eines einzigen Kreuzfedergelenks. Wie für den Fachmann ersichtlich ist, bietet die Ausführungsform einer Swingerstruktur nach Fig. 8 einige herstellungstechnische Vorteile bei gleichzeitiger Verbesserung der Steifigkeit in den Waferebenen.
- 30 35 Schließlich zeigt die Fig. 9 den fertiggestellten Schichtaufbau eines erfundungs-gemäßen mikromechanischen Drehratensensors mit einer Swingerstruktur gemäß Fig. 8, jedoch noch ohne die Deckplatten 26 bzw. 27. Die Rahmenstruktur entspricht derjenigen der Fig. 7.

Mit der Erfindung wurde ein vollständig in mikromechanischer Technik herstellba-

- 11 -

1 rer Drehratensor basierend auf dem Coriolis-Prinzip geschaffen, bei dem zwei
Schwinger über Trägerstrukturen angeregt werden, die so gestaltet sind, daß eine
konstruktive Symmetrie Anregungen von Strukturresonanzen durch äußere Vibra-
tionen vollständig vermeidet. Diese Trägerstruktur übernimmt von den Schwingern
5 die durch Drehraten induzierten Drehmomente, wobei die Auslesung über einen
sehr engen Luftspalt erfolgt, der weit kleiner ist als die transversalen Schwingera-
plituden.

Gegenüber bisher bekannt gewordenen mikromechanischen Drehratensensoren.
10 die auf dem Coriolis-Prinzip basieren, erfolgt gemäß der Erfindung die Anregung der
Schwinger 1, 2 senkrecht zur jeweiligen Waferebene. Die erwähnten Nachteile einer
kapazitiven horizontalen Anregung werden dadurch vermieden, und aufgrund eines
sehr engen Antriebsspalts lassen sich vergleichsweise große Kräfte bei relativ klei-
nen Anregungsspannungen erzielen. Weiterhin werden im Gegensatz zu bekannten
15 Drehratensensoren der hier beschriebenen Art nicht die durch Coriolis-Beschleuni-
gungen verursachten Bewegungen der einzelnen Schwingen ausgelesen, die den viel
größeren Anregungsschwingungen überlagert sind. Vielmehr werden die Auswir-
kungen der Coriolis-Beschleunigungen beider Schwingen 1, 2 auf die gemeinsame
Trägerstruktur kapazitiv detektiert. Auf der Trägerstruktur heben sich dadurch die
20 Reaktionskräfte der einzelnen Teilschwingen zumindest weitgehend vollständig auf.
Dem zunächst sich ergebenden Widerspruch, daß für die kapazitive Anregung und
Auslesung möglichst kleine Spalte benötigt werden, andererseits aber für die Bewe-
gung der Teilschwingen möglichst große Spalte, wird erfahrungsgemäß mit der Idee
begegnet, daß die einzelnen Teilschwingen auf einer gemeinsamen Anregungsstruk-
tur sitzen. Diese gemeinsame Anregungsstruktur ermöglicht kleine Anregungsspal-
te 30, während für die Schwingen 1, 2 ein großer Bewegungsspalt 200 gegeben ist.
25

- 12 -

1

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Mikromechanischer Drehratensor basierend auf dem Coriolis-Prinzip mit zwei elektrostatisch zu Schwingungen in Gegenphase anzuregenden plattenförmigen Schwingern (1, 2), **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden Schwingen (1, 2) in zwei Ebenen schichtartig übereinander angeordnet sind und senkrecht zu ihren Plattenebenen zu Schwingungen anregbar sind.
2. Drehratensor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schwingen (1, 2) an zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils mit einem Teil (3a, 3b bzw. 4a, 4b; 32a, 32b bzw. 33c, 33d) einer plattenartigen, übereinander angeordneten Trägerstruktur verbunden sind, über welche die elektrostatische Schwingungsanregung erfolgt.
- 15 3. Drehratensor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schwingen (1, 2) an einer Seite jeweils mit einem Teil (4a, 4b, 33c, 33d) einer plattenartigen, übereinander angeordneten Trägerstruktur verbunden sind, über welche die elektrostatische Schwingungsanregung erfolgt.
- 20 4. Drehratensor nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Eigenfrequenz der Trägerstruktur anders, vorzugsweise höher gewählt ist als die der Schwingen (1, 2), und daß die Trägerstrukturteile jedes Schwingens so gestaltet sind, daß ihre Reaktionskräfte sich gegenseitig aufheben.
- 25 5. Drehratensor nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Dicke der sich von der Trägerstruktur aus erstreckenden Schwingen geringer ist als die der Trägerstruktur, derart, daß die mögliche Schwingungsamplitude der Schwingen (1, 2) wesentlich größer ist als die durch den Antriebskondensatorspalt (30) für die elektrostatische Schwingungsanregung im Bereich der Trägerstruktur mögliche Erregeramplitude.
- 30 6. Drehratensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schwingen über jeweils mindestens einen Schwingfeder-Anlenksteg (9a, 9b bzw. 19a, 19b und 9c, 9d bzw. 19c, 19d; 90a bis 90d) geringer Dicke ein Stückig mit der Trägerstruktur verbunden sind.
- 35 7. Drehratensor nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß Trägerstruktur einseitig oder zweiseitig, d. h. jeweils auf der dem Schwingen abgekehrten

- 1 Außenseite über einen Federsteg (70, 70'; 5, 7 bzw. 5', 7') in einem die Anordnung aus Swinger und Trägerstruktur umgebenden Rahmen (6, 6') gehalten ist.
- 5 8. Drehratensensor nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die einzelnen Federstege (70, 70'; 5, 7 bzw. 5', 7') als Blattfederelemente gestaltet sind, die rotatorische Auslenkbewegungen der Swinger (1 bzw. 2) gewährleisten und lineare Bewegungen des Swingers (in Richtung $\pm z$) weitgehend unterdrücken.
- 10 9. Drehratensensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Swinger (1, 2) samt den damit einstückig verbundenen Teilen der Trägerstruktur, der Federstege und des Rahmens aus zwei Lagen von Wafern durch anisotropes Ätzen gebildet sind, die zur Isolation auf den jeweils miteinander verbundenen Flächen oxidiert und durch Waferbonden zu einer Doppelschwingerstruktur miteinander verbunden sind.
- 15 10. Drehratensensor nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Wafer [100]-Si-Wafer sind.
- 20 11. Drehratensensor nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die fluchtend übereinander angeordneten Doppelschwingerstrukturen ober- und unterseitig durch Deckplatten (26, 27), die mit den Rahmen (6, 6') verbondet sind, hermetisch abgedichtet innerhalb des so gebildeten evakuierten oder mit Inertgas unter geringem Druck gefluteten Gehäuses angeordnet sind.
- 25 12. Drehratensensor nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Deckplatten (26, 27) aus Glas bestehen, die durch anodisches Bonden entlang der Rahmen (6, 6') hermetisch abgedichtet verbunden sind.
- 30 13. Drehratensensor nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Deckplatten (26, 27) innenseitig mit flächigen Metallfeldern (8 bis 13) beschichtet sind, die einerseits den beiden Swingen (1, 2) als Schwingungs-Auslese- bzw. -Rückstell-Kondensatorflächen und andererseits den beabstandeten Trägerstrukturteilen als Anregungselektroden bzw. zur Auslesung von durch Drehraten induzierten Bewegungen zugeordnet sind.
- 35 14. Drehratensensor nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Metallfelder (8 bis 13) über durchkontakteierte Löcher in den Deckplatten (26, 27) elektrisch kontaktierbar sind, die außenseitig durch aufgebondete leitende Verschluß-

- 14 -

1 inseln (20 bis 31) verschlossen sind.

15. Drehratensor nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die leitenden Verschlußinseln durch hochdotiertes Si-Material gebildet sind, die mit den
5 Deckplatten durch anodisches Bonden bzw. Si-Fusionsbonden hermetischabdichtend verbunden sind.

16. Drehratensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Rahmen (6a bis 6d) mindestens auf einer Außenseite der Schicht-
10 anordnung mit von Waferschicht zu Waferschicht versetzten Ansätzen (40 bis 43) für elektrischen Anschluß versehen sind.

17. Drehratensor nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Rahmen (6a bis 6d) an zwei gegenüberliegenden Seiten mit fluchtend übereinander angeordneten Montageansätzen (60, 61) versehen sind.
15

18. Drehratensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Trägerstruktur bei einseitiger Halterung außer über jeweils einen jedem Swinger zu-
geordneten Federsteg (70, 70') mit weiteren, versetzt angeordneten Halte- und An-
20 schlußstegen (71 bis 74) zur Verbindung mit dem jeweiligen Rahmen (6a bis 6d) ver-
sehen ist.

19. Drehratensor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Federstege als unter einem Winkel zu den möglichen Auslenkrichtungen angeordnete
25 Blattfederstege durch anisotropes Ätzen in [111]-Ebenen der jeweiligen Wafer-
schicht gebildet sind.

20. Drehratensor nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß jede Wafer-
forschicht mit zwei Blattfederstegen mit zu einer gedachten Mittellinie entgegenge-
30 setzt gleicher Winkelstellung derart versehen ist, daß sich von Schicht zu Schicht ei-
ne zueinander fluchtende und sich kreuzende Steganordnung ergibt, die insgesamt
ein Kreuzfedergelenk bildet.

Fig.1

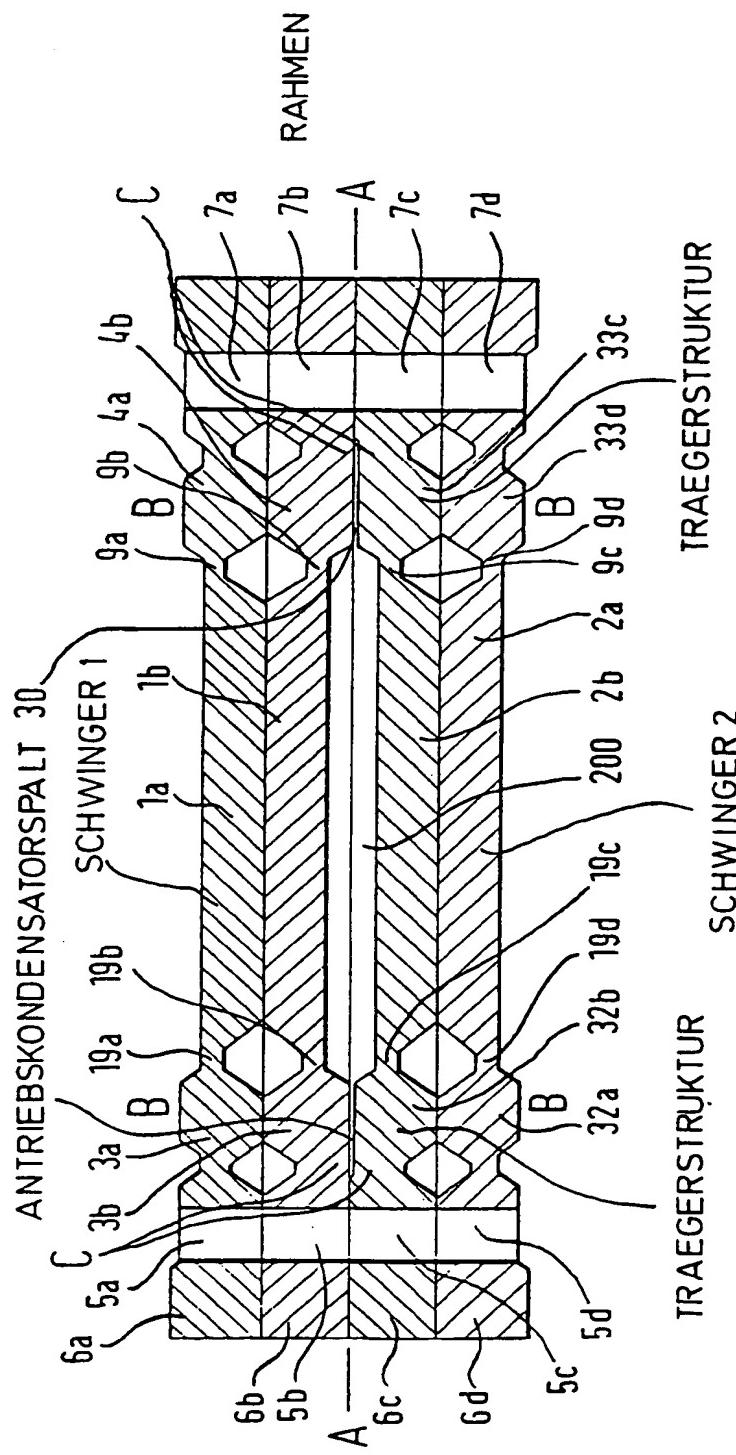
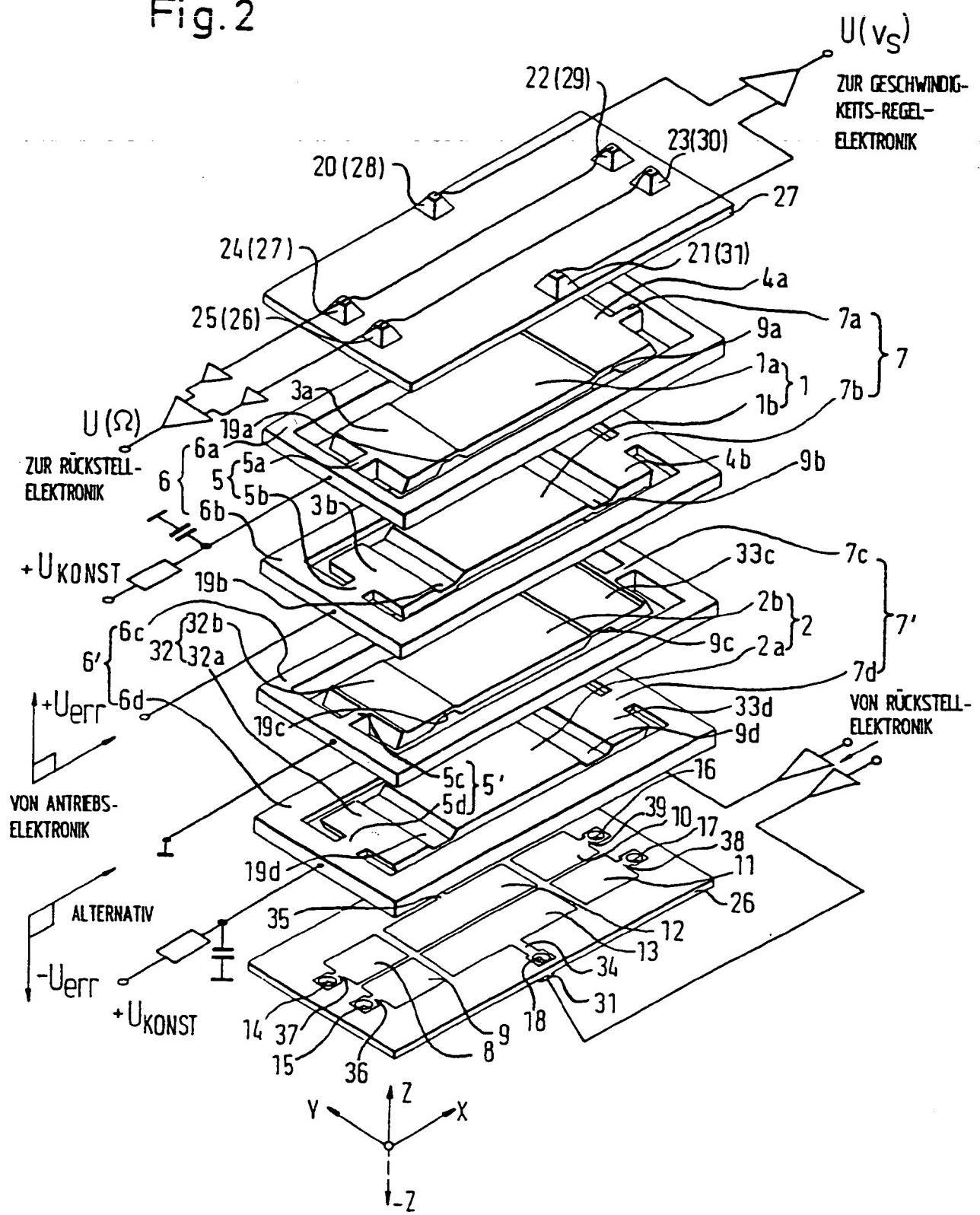
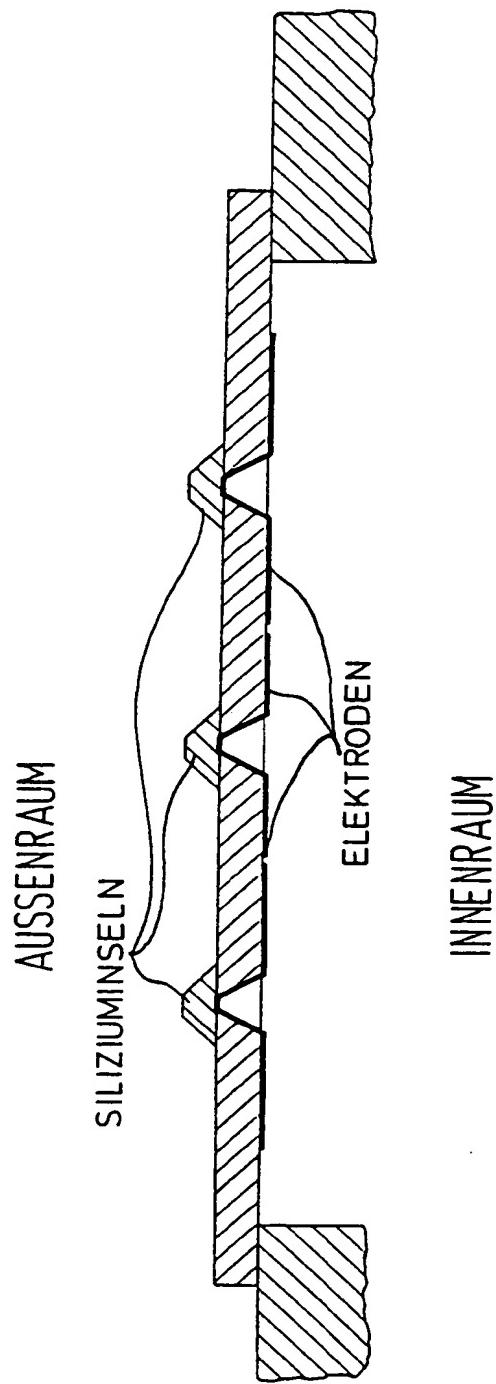


Fig. 2



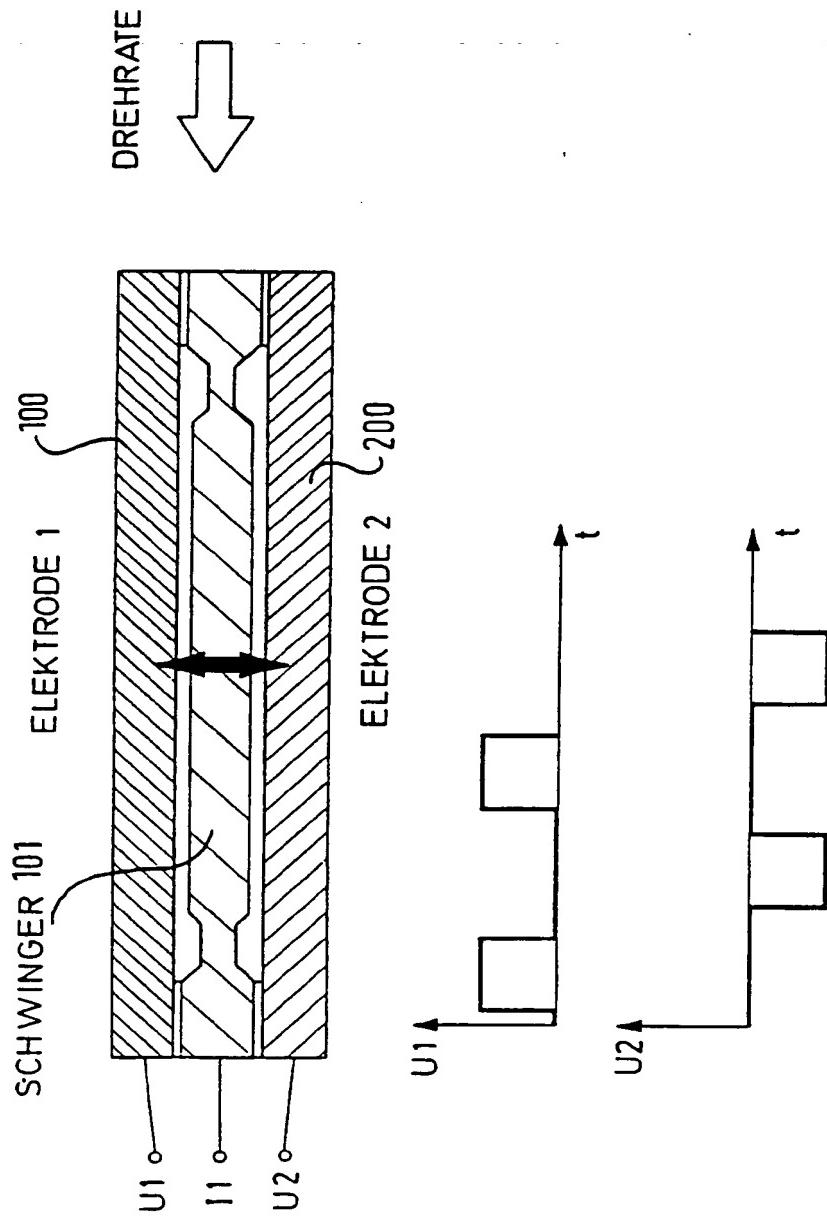
3/7

Fig. 3



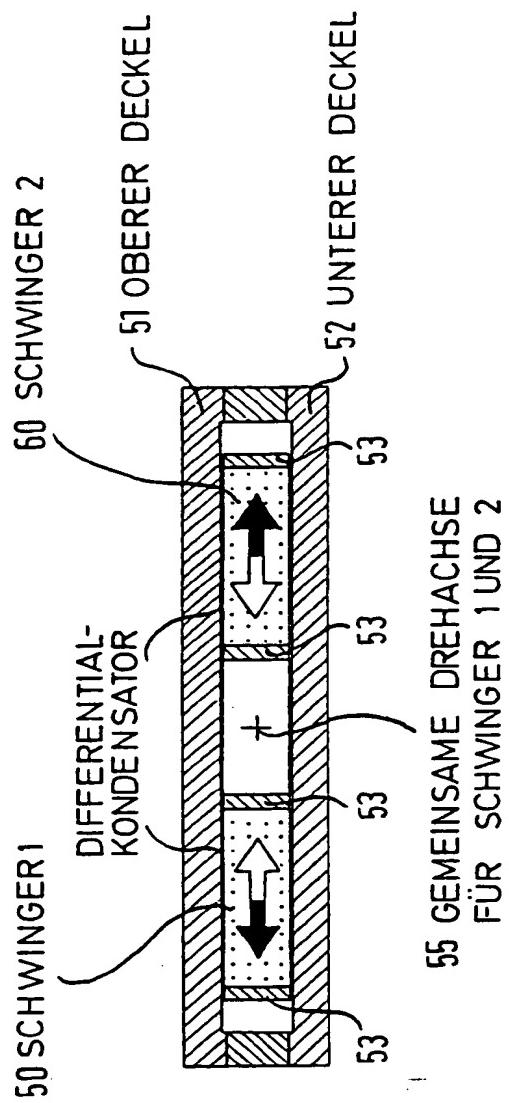
4/7

Fig. 4



5/7

Fig. 5



6 / 7

Fig. 6

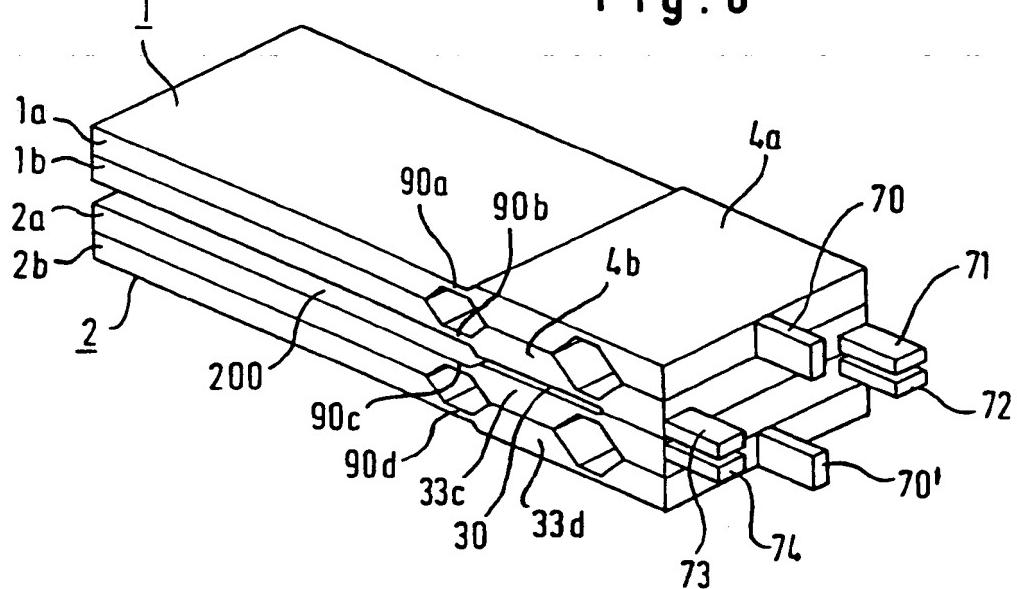
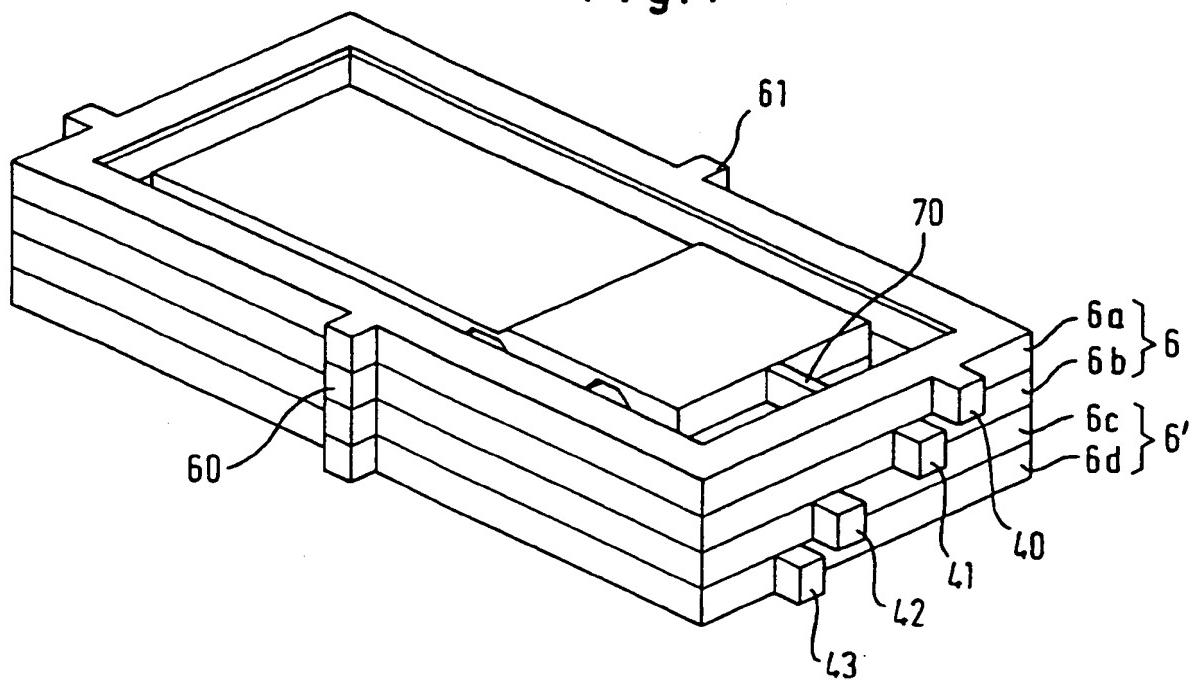


Fig. 7



7 / 7

Fig. 8

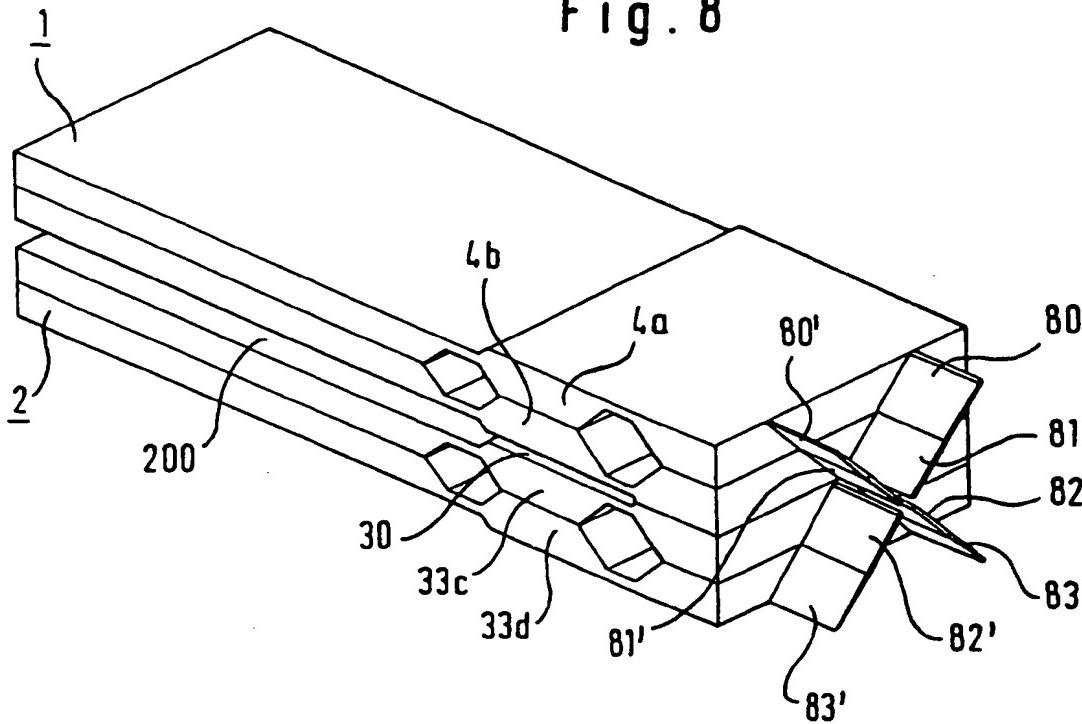
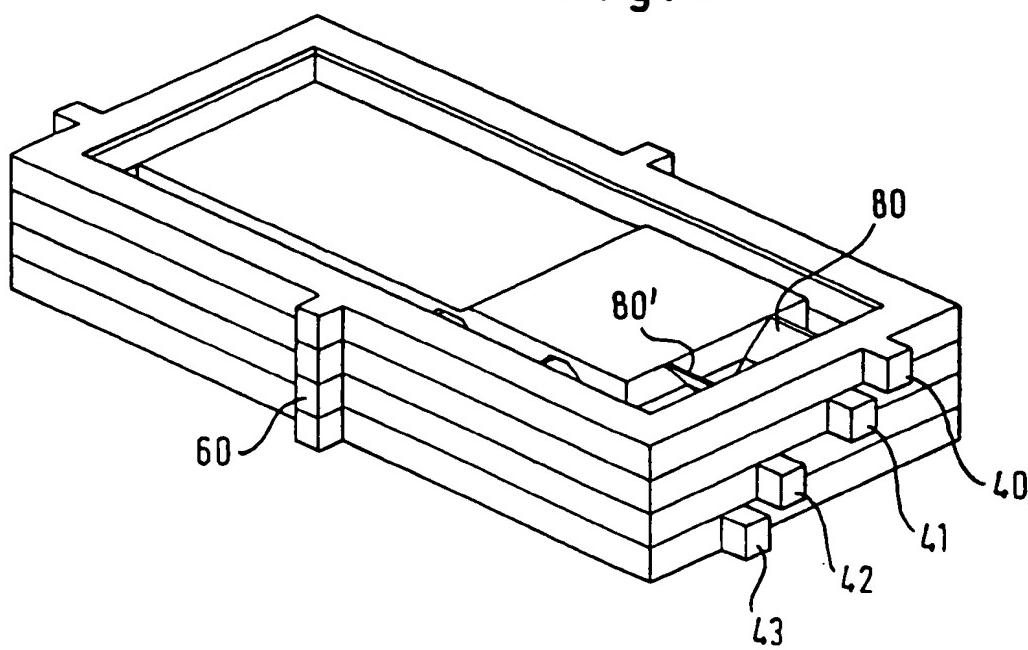


Fig. 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP 96/02333

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC6: G01C 19/56, G01P 15/08, G01P 9/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC6: G01C, G01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US, A, 5285686 (R.B. PETERS), 15 February 1994 (15.02.94), column 3, line 57 - column 4, line 18, figures 1,2	1
A	-- US, A, 5396798 (R.H. FRISCHE), 14 May 1995 (14.05.95), column 8, line 67 - column 10, line 41, figures 8-11	1,2,6,7,9, 11, 19
A	-- WO, A1, 9208140 (SUNDSTRAND DATA CONTROL, INC.), 14 May 1992 (14.05.92), figure 3, abstract	1,3, 11
A	-- EP, A1, 0636860 (CITIZEN WATCH CO. LTD.), 1 February 1995 (01.02.95), figures 1-3, abstract	1,3

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

- * Special categories of cited documents:
- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document not published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubt on priority (claims) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document relating to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 September 1996 (10.09.96)

Date of mailing of the international search report

02 October 1996 (02.10.96)

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office
Facsimile No.

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

31/07/96

International application No.

PCT/EP 96/02333

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US-A- 5285686	15/02/94	WO-A-	9300589	07/01/93
US-A- 5396798	14/05/95	NONE		
WO-A1- 9208140	14/05/92	US-A-	5176031	05/01/93
EP-A1- 0636860	01/02/95	US-A-	5420548	30/05/95
		WO-A-	9411706	26/05/94
		JP-A-	7167662	04/07/95

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 96/02333

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPC6: G01C 19/56, G01P 15/08, G01P 9/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPC6: G01C, G01P

Recherte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US, A, 5285686 (R.B. PETERS), 15 Februar 1994 (15.02.94), Spalte 3, Zeile 57 - Spalte 4, Zeile 18, Figuren 1,2 --	1
A	US, A, 5396798 (R.H. FRISCHE), 14 Mai 1995 (14.05.95), Spalte 8, Zeile 67 - Spalte 10, Zeile 41, Figuren 8-11 --	1,2,6,7,9, 11,19
A	WO, A1, 9208140 (SUNDSTRAND DATA CONTROL, INC.), 14 Mai 1992 (14.05.92), Figur 3, Zusammenfassung --	1,3,11

 Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen. Siehe Anhang Patentfamilie.

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonderer bedeutsam anzusehen ist
- "E" Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

02.10.96

10 September 1996

Bevollmächtigter Bediensteter



Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL-2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx 31 651 epo nl.
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Max Olofsson

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 96/02333

C (Fortsetzung). ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP, A1, 0636860 (CITIZEN WATCH CO. LTD.), 1 Februar 1995 (01.02.95), Figuren 1-3, Zusammenfassung -- -----	1,3

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHTAngaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentsammlung gehören
31/07/96

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 96/02333

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentsammlung	Datum der Veröffentlichung
US-A- 5285686	15/02/94	WO-A- 9300589	07/01/93
US-A- 5396798	14/05/95	KEINE	
WO-A1- 9208140	14/05/92	US-A- 5176031	05/01/93
EP-A1- 0636860	01/02/95	US-A- 5420548 WO-A- 9411706 JP-A- 7167662	30/05/95 26/05/94 04/07/95